



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ –  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ  
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ  
“ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΡΓΩΝ, ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΣ ΚΑΙ ΧΩΡΙΚΟΣ  
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ”**

**Διπλωματική Εργασία**

**ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ  
ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)**

**ΚΑΡΑΛΗ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ**

**ΒΟΛΟΣ 2021**

© 2021 Καραλή Κωνσταντίνα

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών «Διαχείριση Έργων, Συγκοινωνιακός και Χωρικός Σχεδιασμός» δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του/της συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## **Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:**

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων)

**Δρ. Σεραφείμ Πολύζος**

*Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Δεύτερος Εξεταστής

**Δρ. Μαρί-Νοέλ Ντυκέν**

*Καθηγήτρια, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Τρίτος Εξεταστής

**Ανέστης Γουργιώτης**

*Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής  
Ανάπτυξης, Πανεπιστημίου Θεσσαλίας*

## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη συγγραφή της παρούσας εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω, καταρχήν, τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Πολύζο Σεραφείμ για τη βοήθεια του, τις συμβουλές και την καθοδήγηση του κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας.

Οφείλω ακόμα να ευχαριστήσω και τους υπόλοιπους καθηγητές του Τμήματός μου για τις γνώσεις που μας μετέδωσαν, για το ενδιαφέρον που έδειξαν, αλλά και για το γεγονός ότι ήταν κοντά στους φοιτητές και διαθέσιμοι.

Θα ήταν παράλειψή μου εάν δεν αναφερόμουν στους φίλους μου. Το καθημερινό τους ενδιαφέρον και η στήριξη τους μου έδιναν κουράγιο και δύναμη να συνεχίσω με τη συγγραφή της εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, η οποία βρίσκεται δίπλα μου σε κάθε μου εγχείρημα. Ήταν κοντά μου καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησης μου και η υποστήριξή της, ιδιαίτερα κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, ήταν ουσιαστική.

## Περίληψη

Η εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πληθώρας περιβαλλοντικών προβλημάτων με κύριο πρόβλημα την κλιματική αλλαγή. Επιτακτική είναι πια η ανάγκη απαγκίστρωσης από τις συμβατικές μορφές ενέργειας και η στροφή στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.), οι οποίες προσφέρουν αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση των ενεργειακών πόρων, προστασία του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας παρουσιάζονται όλες οι εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή ενέργειας καθώς επίσης και οι διάφορες αντίστοιχες τεχνολογίες και μέθοδοι παραγωγής που εφαρμόζονται συνηθέστερα σε παγκόσμιο επίπεδο. Στη συνέχεια, παρουσιάζεται η μέθοδος της πολυκριτηριακής ανάλυσης και της μοντελοποίησης αυτής ως εργαλείο λήψης αποφάσεων για την αξιολόγηση και επιλογή της βέλτιστης μεταξύ των εναλλακτικών επενδύσεων σε Α.Π.Ε. όπου ακολουθεί σύγκριση των διαφόρων εναλλακτικών έργων ΑΠΕ ως προς τα οικονομικά, περιβαλλοντικά, κοινωνικά και τεχνικά κριτήρια. Επιπλέον, γίνεται μελέτη περίπτωσης για την περιοχή της Μαγνησίας, Τέλος, ακολουθεί η επιλογή της βέλτιστης επένδυσης μετά από τη σύγκριση των διαφόρων εναλλακτικών έργων.

**Λέξεις Κλειδιά:** Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Πολυκριτηριακή Ανάλυση, Αξιολόγηση έργων, Visual Promethee

## Abstract

The intensive use of fossil fuels for the production of electricity results in the emergence of a variety of environmental problems with the main problem being climate change. The need to disengage from conventional forms of energy and switch to Renewable Energy Sources (RES) is now imperative, which offer more efficient use of energy resources and protection of the natural and man-made environment. The aim of this paper is to present all the alternative sources for energy production as well as the various corresponding technologies and production methods that are most commonly applied worldwide. Furthermore, the method of multi-criteria analysis and its modeling is presented as a decision-making tool for the evaluation and selection of the best among the alternative investments in RES. which follows a comparison of the various alternative RES projects in terms of economic, environmental, social and technical criteria. Moreover, a case study for the area of Magnesia, finally, a selection of the best investment after comparing various alternative projects.

**Keywords:** Renewable Energy Sources, Multi-Criteria Decision Analysis, Renewable Energy Sources project evaluation, Visual Promethee

## Πίνακας Περιεχομένων

<b>Κατάλογος Πινάκων .....</b>	<b>8</b>
<b>Κατάλογος Σχημάτων - Διαγραμμάτων .....</b>	<b>9</b>
<b>Κεφάλαιο 1 Σκοπός, στόχοι και δομή της εργασίας .....</b>	<b>11</b>
<b>Κεφάλαιο 2 Ανάλυση βασικών εννοιών ΑΠΕ.....</b>	<b>14</b>
2.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	14
2.2 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	16
2.2.1 Αιολική Ενέργεια .....	16
2.2.2 Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκά .....	18
2.2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια .....	20
2.2.4 Ενέργεια από την θάλασσα.....	21
2.2.5 Βιομάζα .....	23
2.2.6 Γεωθερμική Ενέργεια .....	24
2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) .....	25
2.4 Ιστορική αναδρομή – Διεθνής Συμφωνίες .....	29
2.4.1 Εθνικό θεσμικό πλαίσιο .....	32
2.4.2 Η μελλοντική πορεία του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος.....	36
<b>Κεφάλαιο 3 Βιβλιογραφική Επισκόπηση .....</b>	<b>40</b>
<b>Κεφάλαιο 4 Μέθοδοι – Βασικές Αρχές Πολυκριτηριακής Ανάλυσης για την Αξιολόγηση Έργων .....</b>	<b>45</b>
<b>Κεφάλαιο 5 Μοντελοποίηση Του Προβλήματος Επιλογής Επένδυσης .....</b>	<b>53</b>
5.1 Ορισμός του προβλήματος .....	53
5.2 Εναλλακτικές επενδύσεις σε έργα Α.Π.Ε.....	53
5.2.1 Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα).....	53
5.2.2 Αιολικό πάρκο σε νησί (σε Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα) .....	54
5.2.3 Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος).....	55
5.2.4 Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο) .....	56
5.2.5 Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος).....	56
5.2.6 Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία.....	57
5.2.7 Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα.....	57
5.3 Κριτήρια αξιολόγησης .....	58
5.3.1 Περιγραφή και αξία κριτηρίων .....	60
5.4 Εισαγωγή βαρών και επεξεργασία δεδομένων σε περιβάλλον Promethee .....	68
5.5 Συμπεράσματα από την επεξεργασία των δεδομένων .....	88

<b>Κεφάλαιο 6 Case Study: Επιλογή έργου ΑΠΕ στην περιοχή της Μαγνησίας .....</b>	<b>90</b>
<b>Συμπεράσματα .....</b>	<b>95</b>
<b>Παράρτημα .....</b>	<b>98</b>
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>109</b>



## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1: Πίνακας Αξιολόγησης.....	52
Πίνακας 5.1: Οικονομικό κριτήριο .....	62
Πίνακας 5.2: Περιβαλλοντικό κριτήριο .....	64
Πίνακας 5.3: Τεχνικό κριτήριο .....	66
Πίνακας 5.4: Κοινωνικό κριτήριο.....	68
Πίνακας 5.5: Πίνακας με βάρη κριτηρίων .....	71
Πίνακας 5.6: Πίνακας Promethee με βάρη κριτηρίων .....	72
Πίνακας 5.7: Πίνακας Promethee με ίσα βάρη κριτηρίων.....	73
Πίνακας 5.8: Promethee Table με βάρη κριτηρίων και για ίσα βάρη κριτηρίων .....	78
Πίνακας 6.1: Πίνακας με βάρη (Case Study: Μαγνήσια) .....	90
Πίνακας 6.2: : Πίνακας Promethee με ίσα βάρη κριτηρίων (Case Study: Μαγνήσια)....	91
Πίνακας 6.3: Promethee Table κριτηρίων (Case Study: Μαγνήσια).....	92

## Κατάλογος Σχημάτων – Διαγραμμάτων

<b>Διάγραμμα 5.1:</b> Μερική κατάταξη (PROMETHEE I) με βάρη κριτηρίων και για ίσα βάρη.....	74
<b>Διάγραμμα 5.2:</b> Ολική κατάταξη (PROMETHEE II) ) με βάρη κριτηρίων και για ίσα βάρη .....	75
<b>Διάγραμμα 5.3:</b> PROMETHEE Diamond με βάρη κριτηρίων και για ίσα βάρη.....	77
<b>Διάγραμμα 5.4:</b> PROMETHEE Rainbow με βάρη κριτηρίων.....	79
<b>Διάγραμμα 5.5:</b> PROMETHEE Rainbow με ίσα βάρη κριτηρίων .....	81
<b>Διάγραμμα 5.6:</b> Visual Stability Intervals για το Οικονομικό κριτήριο με βάρη και με ίσα βάρη .....	83
<b>Διάγραμμα 5.7:</b> Visual Stability Intervals για το Τεχνικό κριτήριο με βάρη με ίσα βάρη .....	84
<b>Διάγραμμα 5.8:</b> Visual Stability Intervals για το Κοινωνικό κριτήριο με βάρη και με ίσα βάρη .....	85
<b>Διάγραμμα 5.9:</b> Visual Stability Intervals για το Περιβαλλοντικό κριτήριο με βάρη και με ίσα βάρη .....	86
<b>Διάγραμμα 6.1:</b> Διάγραμμα PROMETHEE Rainbow (Case study: Μαγνησία).....	92

## Συντομογραφίες

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΕΕ: Ευρωπαϊκή Ένωση

ΚΑΠΕ: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Φ/Β: Φωτοβολταϊκά

ΟΗΕ: Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών

ΡΑΕ: Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

ΣΗΘΥΑ: Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού-Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης

ΕΤΣΕ: Ευρωπαϊκό Ταμείο Στρατηγικών Επενδύσεων

ΜΥΗΕ: Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα

ΔΕΣΜΗΕ: Διαχειριστής του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΓΣΠ: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

ΠΑ: Πολυκριτηριακή Ανάλυση

ΥΗΣ: Υδροηλεκτρικός Σταθμός

MCDA: Multiple-Criteria Decision Analysis

# Κεφάλαιο 1 Σκοπός, στόχοι και δομή της εργασίας

## Εισαγωγή

Τα τελευταία έτη η ολοένα και αυξανόμενη βιομηχανική και τεχνολογική ανάπτυξη του ανθρώπου είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης του παγκόσμιου πληθυσμού. Αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος ήταν η εμφάνιση των πρώτων οικολογικών προβλημάτων του πλανήτη και στη συνέχεια τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα που προκλήθηκαν από την κατανάλωση αυτή. Συνεπώς, άρχισε αμέσως μετά η αναζήτηση διάφορων εναλλακτικών μορφών ενέργειας με σκοπό την εγκατάλειψη των έως τότε συμβατικών πηγών. Ενώ τα αποθέματα των συμβατικών μορφών ενέργειας φαίνεται να αποκτούν με τον καιρό ημερομηνία λήξης, οι ΑΠΕ ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης κάτι που τις χαρακτηρίζει ως ανεξάντλητες. Στην Ελλάδα, σύμφωνα με την Οδηγία 2009/28/ΕΚ, η συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε. στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας θα πρέπει να ανέρχεται σε ποσοστό 20% έως το 2020 κάτι που επιτεύχθηκε.

Καθώς, όμως η Ελλάδα μπορεί να υποστηρίξει πολλές μορφές ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε είναι εμφανές ότι δημιουργούνται διαφοροποιημένες ευκαιρίες ανά τομέα. Το ζητούμενο, επομένως, είναι να διερευνηθεί ποια ενεργειακή επένδυση ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε κρίνεται καταλληλότερη τη παρούσα χρονική στιγμή με βάση τους στόχους του επενδυτή. Πολλές εναλλακτικές δράσεις έχει ο καθένας στη διάθεσή του να επιλέξει και πολλά συμφέροντα έρχονται απέναντι το ένα από το άλλο κάνοντας τη χρήση εργαλείων που βοηθούν στην τεκμηρίωση της κατάλληλης εναλλακτικής δράσης απολύτως απαραίτητη.

Για την επιλογή της καταλληλότερης εναλλακτικής για έργα ΑΠΕ έως σήμερα, το πρόβλημα αυτό έχουν προσεγγίσει διάφορες έρευνες, αξιολογώντας τη δυναμική των Α.Π.Ε με διάφορες μεθοδολογίες, η ποιο διαδεδομένη είναι αυτή με την χρήση της

πολυκριτηριακής ανάλυσης, ώστε ο υποψήφιος επενδυτής να βασιστεί σε μια επιστημονική μέθοδο αξιολόγησης της επιλογής βέλτιστης για αυτόν επένδυσης.

### **Σκοπός και στόχος της εργασίας**

Η επιλογή και αξιολόγηση της καταλληλότερης εναλλακτικής για έργα ΑΠΕ δεν είναι ιδιαίτερα απλή υπόθεση. Πολλοί είναι οι παράγοντες που υπεισέρχονται και καθορίζουν την τελική επιλογή. Αυτό είναι και το βασικό κίνητρο για τη συγγραφή της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Σκοπός είναι να γίνει μια σύγκριση των εναλλακτικών έργων ΑΠΕ που μπορούν να εκμεταλλευτούμε στην Ελλάδα και στην συνέχεια η ανάπτυξη ενός πολυκριτηριακού μεθοδολογικού πλαισίου για την αξιολόγηση αυτών των έργων με σκοπό της εύρεση της καταλληλότερης εναλλακτικής για τα δεδομένα που ορίσαμε.

### **Δομή της εργασίας**

Μετά το πρώτο αυτό εισαγωγικό κεφάλαιο, στο δεύτερο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μια εισαγωγή βασικές έννοιες των ΑΠΕ και στις τεχνολογίες Α.Π.Ε οι οποίες μπορούν να υλοποιηθούν στον Ελληνικό χώρο και όχι μόνο. Στη συνέχεια γίνεται μια ιστορική αναδρομή βάση των διεθνών συμφωνιών και το εθνικού θεσμικού πλαισίου. Στο τέλος του δευτέρου κεφαλαίου παρουσιάζεται Η μελλοντική πορεία του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος και τους στόχους που έχουν οριστεί για την αναστροφή την περιβαλλοντικής καταστροφής που βιώνουμε τα τελευταία χρόνια μέσω της εγκατάστασης περισσότερων έργων ΑΠΕ.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται βιβλιογραφική επισκόπηση για το ποιες μεθοδολογίες έχουν χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση έργων ΑΠΕ. Παρουσιάζονται και αναλύονται οι βασικές μέθοδοι από την βιβλιογραφία που μελετήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται οι βασικές αρχές και οι μέθοδοι της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης καθώς είναι η μέθοδος που επιλέχθηκε ανάμεσα από τις υπόλοιπες μεθόδους που μελετήθηκαν από το προηγούμενο κεφάλαιο για την αξιολόγηση των εναλλακτικών έργων ΑΠΕ της παρούσας εργασίας.

Στο επόμενο κεφάλαιο, περιγράφεται το προς επίλυση πρόβλημα και παρουσιάζονται οι επτά εναλλακτικές επενδύσεις για την μοντελοποίηση του προβλήματος επιλογής επένδυσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα κριτήρια αξιολόγησης που εφαρμοστήκαν στην παρούσα ανάλυση. Ακολουθεί η εισαγωγή βαρών και η επεξεργασία δεδομένων σε περιβάλλον Promethee το πρόγραμμα το οποίο χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των εναλλακτικών έργων, επιπλέον, στο τέλος του κεφαλαίου αυτού σχολιάζονται τα αποτελέσματα που παρήχθησαν από το πρόγραμμα.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μια μελέτη περίπτωσης για την επιλογή του καταλληλότερου έργου ΑΠΕ στην περιοχή της Μαγνησίας χρησιμοποιώντας την ίδια διαδικασία του προηγούμενου κεφαλαίου.

Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα που προκύπτουν και που αφορούν στη σύγκριση που έγινε στα προηγούμενα κεφάλαια. Τέλος, ακολουθούν προτάσεις για περεταίρω έρευνα.

## Κεφάλαιο 2 Ανάλυση βασικών εννοιών ΑΠΕ

### 2.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στη σημερινή εποχή, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας πηγάζει κυρίως από τις λεγόμενες Συμβατικές Πηγές Ενέργειας ή αλλιώς τις «Μη Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας», δηλαδή θερμικές μονάδες που λειτουργούν με ορυκτούς πόρους, όπως το πετρέλαιο και τα παράγωγα του, τους στερεούς άνθρακες, το φυσικό αέριο και τα πυρηνικά. Ουσιαστικά πρόκειται για πλούσιους σε ποσότητα φυσικούς πόρους στο υπέδαφος του πλανήτη, οι οποίοι όμως στην κλίμακα χρόνου του ανθρώπινου είδους θεωρούνται εξαντλήσιμοι, δηλαδή η αναπλήρωση τους είναι πολύ αργή. Η εντατική αξιοποίηση τους πέρα από τον κίνδυνο της γρήγορης εξάντλησής τους, αποδείχθηκε ότι έχει επιφέρει και επιβαρυντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα του ανθρώπου, δημιουργώντας μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή το φαινόμενο του θερμοκηπίου. (Αποστόλου, 2018)

Ως ανανεώσιμες πηγές όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας – μη ορυκτές (εν αντιθέσει με του πετρελαίου ή του άνθρακα) δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια που από τη φύση τους ανανεώνονται και είναι διαρκώς διαθέσιμες. Οι Ανανεώσιμες ενεργειακές πηγές αποτελούν μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που πηγάζει από φυσικές διαδικασίες όπως ο άνεμος, η ροή του νερού κ.α. Ωστόσο, η έκφραση «ανανεώσιμες» δεν θεωρείται χαρακτηριστική, εξαιτίας του ότι ορισμένες πηγές όπως η ενέργεια της γεωθερμίας, ο γαιάνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. (Bichpuriya & Soman, 2010)

Οι ανανεώσιμες ή αλλιώς ήπιες μορφές ενέργειας (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος "ήπιες", όπως

ονομάζονται διαφορετικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Κατ' αρχήν, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, δηλαδή δεν χρησιμοποιούν διαδικασία εξόρυξης ή καύσης, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας αλλά απλώς αλλά χρησιμοποιούνται ήδη από την φυσική υφιστάμενη ενεργειακή ροή. Δεύτερο, πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα. Για τον λόγο αυτόν, οι ΑΠΕ θεωρούνται από αρκετούς ως μία αφετηρία για την επίλυση των οικολογικών προβλημάτων που έχουν κάνει την εμφάνισή τους τα τελευταία χρόνια στο περιβάλλον προκαλώντας ανεπανόρθωτα προβλήματα. (Ketsetzi & Capraro, 2016).

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάστηκε αρχικά μετά τις δυο πετρελαϊκές κρίσεις, του 1973 και του 1979, και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων. Οι ΑΠΕ ήταν ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή και ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως, λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα που θα επιτρέψουν την περαιτέρω αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. (Αποστόλου, 2018)

Η παγκόσμια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας διπλασιάζεται κάθε οκτώ έτη στις αναπτυσσόμενες χώρες, πράγμα που σημαίνει ότι πολύ σύντομα ο αριθμός που στερείται των ευεργετημάτων της ηλεκτρικής ενέργειας, θα συνεχίζεται να αυξάνεται με αποτέλεσμα όλο και περισσότεροι άνθρωποι να βιώνουν ένα μη φυσιολογικό τρόπο ζωής. Προκειμένου να βοηθηθούν οι πληθυσμοί που βιώνουν τις δυσκολίες διαβίωσης



χωρίς ηλεκτρική ενέργεια, αλλά και να καλυφθούν στο μέλλον οι ανάγκες του μέσου ανθρώπου, ώστε να μη βρεθούν και άλλοι άνθρωποι σε παρόμοια δυσμενή θέση, θα πρέπει να γίνει ευρεία χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. (Bichpuriya & Soman, 2010).

Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση με την οδηγία 2001/77/ΕΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου επιδιώκεται το 20% των αναγκών της σε ηλεκτρική ενέργεια να καλύπτεται από εναλλακτικές πηγές μέχρι το 2020.

## 2.2 Μορφές Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ, αναλύονται στο κεφάλαιο αυτό. Για την εκμετάλλευση τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση.

Υπάρχουν αρκετές δυνατότητες κατάταξης των ΑΠΕ σε κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευσή τους, την πυκνότητά τους, το φορέα της ενέργειας. Το παρόν κείμενο θα αρκεστεί στην παρατήρηση ότι με εξαίρεση την παλιρροιακή ενέργεια των θαλασσών, που οφείλεται στην περιστροφή της Γης και την έλξη της από τους πλανήτες, όλες οι άλλες μορφές, έμμεσα ή άμεσα, αποτελούν παράγωγα της ηλιακής και αιολικής ενέργειας. Θα πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η γεωθερμία δεν είναι πραγματικά ανανεώσιμη πηγή ενέργειας (αφού είναι πεπερασμένη), αλλά μπορεί να θεωρηθεί ως τέτοια σε σχέση με τον ιστορικό χρόνο.

Στα είδη των ήπιων μορφών ενέργειας, επομένως, εντάσσονται οι εξής:

### 2.2.1 Αιολική Ενέργεια

Η αιολική ενέργεια είναι η χρήση της ροής του αέρα μέσω των ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικών γεννητριών για ηλεκτρική ενέργεια. (Bichpuriya & Soman, 2010).

Οι ανεμογεννήτριες είναι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του

ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής, γίνεται η μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. (Αποστόλου, 2018)

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη, γι' αυτό και είναι ανανεώσιμη. (Ξενού, 2017)

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται για την πλήρη κάλυψη ή και τη συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το παραγόμενο από τις ανεμογεννήτριες ηλεκτρικό ρεύμα είτε καταναλώνεται επιτόπου, είτε εγχέεται και διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να καταναλωθεί αλλού. Ο άνεμος είναι μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία μάλιστα παρέχεται δωρεάν. Η αιολική ενέργεια ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια και προστατεύει τον πλανήτη, καθώς αποφεύγονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που αποσταθεροποιούν το παγκόσμιο κλίμα. Αν υπήρχε η δυνατότητα με τη σημερινή τεχνολογία να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. (Ξενού, 2017)

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την "πρώτη" περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας. Η αιολική ενέργεια αποτελεί την πλέον διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας στην Ελλάδα, χάρη στο πλούσιο αιολικό δυναμικό της χώρας, σε Κρήτη, Πελοπόννησο, Εύβοια και φυσικά στα νησιά του Αιγαίου. Σε αυτές τις περιοχές

συναντούμε και τα περισσότερα αιολικά πάρκα, τα οποία αποτελούνται από συστοιχίες ανεμογεννητριών σε βέλτιστη διάταξη για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού. (Ξενού, 2017)

### 2.2.2 Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκά

Με το όρο Ηλιακή Ενέργεια νοείται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της καταφθάνουσας στην επιφάνεια του πλανήτη της ηλιακής ενέργειας με τριών ειδών συστήματα: τα θερμικά ηλιακά, τα παθητικά ηλιακά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. (Αποστόλου, 2018) Η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή, ανεξάντλητη, ήπια και ανανεώσιμη. Η ηλιακή ακτινοβολία δεν ελέγχεται από κανέναν και αποτελεί ένα ανεξάντλητο εγχώριο ενεργειακό πόρο, που παρέχει ανεξαρτησία, προβλεψιμότητα και ασφάλεια στην ενεργειακή τροφοδοσία. Υπάρχουν τρεις τρόποι για να αξιοποιήσει κανείς την ηλιακή ενέργεια. Η ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση. (Ξενού, 2017)

#### 1. Θερμικά Ηλιακά Συστήματα

Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους ηλιακοί θερμοσίφωνες, οι οποίοι απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και στη συνέχεια, τη μεταφέρουν με τη μορφή θερμότητας σε κάποιο ρευστό, όπως το νερό για παράδειγμα. Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται μέσω ηλιακών συλλεκτών, σκουρόχρωμων δηλαδή επιφανειών καλά προσανατολισμένων στον ήλιο, οι οποίες βρίσκονται σε επαφή με νερό και του μεταδίδουν μέρος της θερμότητας που παρέλαβαν. Το παραγόμενο ζεστό νερό χρησιμοποιείται για απλή οικιακή ή πιο σύνθετη βιομηχανική χρήση, τελευταία δε ακόμη και για τη θέρμανση και ψύξη χώρων μέσω κατάλληλων

διατάξεων. (Αποστόλου, 2018) Αυτό το είδος συστήματος εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας επιφέρει αξιοπιστία, αυτονομία, ευκολία, εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας αλλά και κυρίως τη προστασία του περιβάλλοντος μέσω της χρήσης της.

## 2. Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούνται από δομικά στοιχεία, κατάλληλα σχεδιασμένα και συνδυασμένα μεταξύ τους, ώστε να υποβοηθούν την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για τον φυσικό φωτισμό των κτιρίων ή για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας μέσα σε αυτά. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα αποτελούν την αρχή της Βιοκλιματικής Αρχιτεκτονικής και μπορούν να εφαρμοσθούν σε όλους σχεδόν τους τύπους κτιρίων. (Ξενου, 2017)

## 3. Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Πρόκειται για συστήματα που μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και που, εδώ και πολλά χρόνια, χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη διασυνδεδεμένων στο ηλεκτρικό δίκτυο καταναλώσεων. Δορυφόροι, φάροι και απομονωμένα σπίτια χρησιμοποιούν παραδοσιακά τα φωτοβολταϊκά για την ηλεκτροδότησή τους. Στην Ελλάδα, η προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής των Φ/Β συστημάτων είναι τεράστια, λόγω του ιδιαίτερα υψηλού δυναμικού ηλιακής ενέργειας. Η ηλεκτροπαραγωγή από Φωτοβολταϊκά έχει ένα τεράστιο πλεονέκτημα αποδίδει την μέγιστη ισχύ της κατά τη διάρκεια της ημέρας που παρουσιάζεται η μέγιστη ζήτηση.

Ένα τυπικό φωτοβολταϊκό σύστημα χρησιμοποιεί ηλιακούς συλλέκτες, το καθένα από τα οποία αποτελείται από έναν αριθμό ηλιακών κυψελών, τα οποία παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Οι φωτοβολταϊκές εγκαταστάσεις μπορούν να τοποθετηθούν σε έδαφος σε στέγες ή σε τοίχο (Astariz, & Iglesias, 2017). Όταν τα φωτοβολταϊκά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπουν ένα 5-17% της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το πόσο ακριβώς είναι αυτό το ποσοστό εξαρτάται από την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε.

Ανάλογα με τη χρήση του παραγόμενου ρεύματος, τα Φ/Β κατατάσσονται σε:

- Αυτόνομα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων καταναλώνεται επιτόπου και εξολοκλήρου από την παραγωγή στην κατανάλωση, για παράδειγμα να καλύπτει το σύνολο των ενεργειακών αναγκών ενός κτηρίου ή μιας επαγγελματικής χρήσης.
  - Διασυνδεδεμένα συστήματα, η παραγόμενη ενέργεια των οποίων διοχετεύεται στο ηλεκτρικό δίκτυο για να μεταφερθεί και να καταναλωθεί αλλού.
- (Α. Ξενου, 2017)

Η χρήση των φωτοβολταϊκών συστημάτων εγγυώνται: μηδενική ρύπανση, αθόρυβη λειτουργία, αξιοπιστία και μεγάλη διάρκεια ζωής (που φθάνει τα 30 χρόνια), απεξάρτηση από την τροφοδοσία καυσίμων για τις απομακρυσμένες περιοχές, δυνατότητα επέκτασης ανάλογα με τις ανάγκες και ελάχιστη συντήρηση.

### 2.2.3 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

Η έννοια υδροδυναμική ενέργεια χαρακτηρίζει τη μετατροπή της δυναμικής ή της κινητικής ενέργειας υδάτινων μαζών σε ηλεκτρισμό. Η εκμετάλλευση της δύναμης του νερού αποτελεί την αρχαιότερη και πλέον εξελιγμένη απ' όλες τις τεχνολογίες των ΑΠΕ. (Jobert et al., 2007) Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της πτερωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της πτερωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνεται η μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ). Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας. Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα διαφέρουν σημαντικά από της μεγάλης κλίμακας σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον. (Αποστόλου, 2018)

1. Μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών

με σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η κατασκευή φραγμάτων περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής.

2. Μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες Τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους παρουσιάζει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική όχληση. Για το λόγο αυτό, οι υδροηλεκτρικές μονάδες μικρότερης δυναμικότητας των 30 MW χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά έργα και συμπεριλαμβάνονται μεταξύ των εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Κατά τη λειτουργία τους, μέρος της ροής ενός ποταμού οδηγείται σε στρόβιλο για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας και συνακόλουθα ηλεκτρικής μέσω της γεννήτριας. Η χρησιμοποιούμενη ποσότητα νερού κατόπιν επιστρέφει στο φυσικό ταμειυτήρα ακολουθώντας τη φυσική της ροή.

#### 2.2.4 Ενέργεια από την θάλασσα

Η θάλασσα η αλλιώς ωκεανοί είναι δυνατόν να προσφέρουν τεράστια ποσά ενέργειας, ακόμα όμως και σήμερα δεν υφίσταται μια αποτελεσματική ως προς την ανάπτυξης της αλλά και την εφαρμογή της δυνατότητας παραγωγής ενέργειας, η οποία να έχει την ικανότητα να εκμεταλλευτεί τη συνολική ισχύ της. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι εκμετάλλευσης της ισχύς της, το πρόβλημα είναι ότι δεν έχουν εφαρμοστεί στο σύνολο τους. Για παράδειγμα υπάρχει δυνατότητα να εξαχθεί ενέργεια από τη θάλασσα χρησιμοποιώντας ποικίλους τρόπους όπως π.χ. καταδυόμενες αίθουσες πίεσης, το πρόβλημα είναι ότι αυτή η δυνατότητα δυστυχώς δεν έχει αξιοποιηθεί στο έπακρο της. (Λωσταράκου, 2019)

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι αξιοποίησης της ενέργειας της θάλασσας:

##### 1. Ενέργεια από τις παλίρροιες (μικρές και μεγάλες)

Η παλιρροϊκή ενέργεια αξιοποιείται εδώ και εκατοντάδες χρόνια, καθώς με τη δέσμευση των νερών των ποταμών από την παλίρροια, επιτυγχάνονταν η κίνηση των νερόμυλων. Ο τρόπος είναι απλός: Τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή κατά την

πλημμυρίδα μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα, οπότε κατά την άμπωτη τα αποθηκευμένα νερά ελευθερώνονται και κινούν υδροστρόβιλο, όπως στα υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών. Η διαφορά μεταξύ της στάθμης του νερού κατά την άμπωτη και την πλημμυρίδα πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 μέτρα. Σήμερα οι μικροί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από το θαλασσινό νερό βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο. Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες μιας πόλης μέχρι και 240.000 κατοίκων.

## 2. Ενέργεια από τα κύματα

Τα θαλάσσια κύματα είναι η μεταφορά ενέργειας από τα επιφανειακά κύματα του ωκεανού, και η σύλληψη της εν λόγω ενέργειας για να γίνει χρήσιμο το έργο - για παράδειγμα, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αφαλάτωσης ύδατος, ή την άντληση του νερού (σε δεξαμενές). Μια μηχανή που μπορεί να εκμεταλλευτεί την ενέργεια των κυμάτων είναι γενικά γνωστή ως μετατροπέας κυματικής ενέργειας (WEC). Η κινητική ενέργεια των κυμάτων μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα, με αποτέλεσμα η ανυψωτική αυτή κίνηση του κύματος να πιέσει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο θέτοντας σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Η παραγόμενη ενέργεια είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες μιας οικίας, ενός φάρου, κ.λ.π. (Ξένου, 2017) Η παραγωγή κυματικής ενέργειας, επί του παρόντος, δεν χρησιμοποιείται ευρέως ως εμπορική τεχνολογία, αν και υπήρξαν προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί τουλάχιστον από το 1890.

## 3. Θερμοκρασιακές διαφορές του νερού της θάλασσας

Αξίζει να σημειωθεί ότι μια άλλη μορφή ενέργειας είναι η θερμική ενέργεια των ωκεανών που μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5°C (Lopes, 2018). Οι θαλάσσιες μάζες καλύπτουν το 75% της επιφάνειας του πλανήτη και μπορούν να θεωρηθούν ένα κολοσσιαίο, «παγκόσμιο» ενεργειακό ρεζερβουάρ (Lee, et al., 2016)

### 2.2.5 Βιομάζα

Βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων, όπως ορίζει η ΟΔΗΓΙΑ 2001/77/ΕΚ.

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων. (Ξένου, 2017)

Η βιομάζα αποτελεί μια δεσμευμένη και αποθηκευμένη μορφή της ηλιακής ενέργειας και είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας των φυτικών οργανισμών. Κατ' αυτήν, η χλωροφύλλη των φυτών μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μια σειρά διεργασιών, χρησιμοποιώντας ως βασικές πρώτες ύλες διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα καθώς νερό και ανόργανα συστατικά από το έδαφος. Πρακτικά, υπάρχουν δυο τύποι βιομάζας:

1. Η βιομάζα προερχόμενη από υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα, ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα).
2. Η βιομάζα προερχόμενη από ενεργειακές καλλιέργειες (ΚΑΠΕ, 2006).

Η βιομάζα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (παραγωγή θερμότητας, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λ.π.) είτε με απ' ευθείας καύση, είτε με μετατροπή της σε αέρια, υγρά ή/και στερεά καύσιμα μέσω θερμοχημικών ή βιοχημικών διεργασιών. (Αποστόλου, 2018)



Στα μειονεκτήματα της παραγωγής ενέργειας από βιομάζα αναφέρονται το κόστος συλλογής και επεξεργασίας των υλικών, καθώς και το μικρό ενεργειακό περιεχόμενο σε σχέση με ίση μάζα καύσιμου απολιθωμάτων. Η εμπειρία των ευρωπαϊκών χωρών έδειξε ότι η χρήση βιομάζας είναι τελικά φθηνότερη για τον καταναλωτή από το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο.

Παράλληλα, τα σύγχρονα συστήματα βιομάζας χρησιμοποιούνται ολοένα και συχνότερα σε υβριδικές εφαρμογές, ενώ μπορούν να παράσχουν μία διέξοδο σε πολλούς αγρότες, οι οποίοι είτε μπορούν να στραφούν σε ενεργειακές καλλιέργειες είτε να αξιοποιήσουν τα αγροτικά και κτηνοτροφικά παραπροϊόντα που σήμερα Υβριδικό σύστημα θέρμανσης με βιομάζα και ηλιακή ενέργεια. Θεωρούνται απόβλητα και η καταστροφή τους συνεπάγεται επιπλέον κόστος. Το δυναμικό παραγωγής ενέργειας από βιομάζα είναι τεράστιο. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η βιομάζα θα μπορούσε να αποδώσει 9% της παγκόσμιας πρωτογενούς ενέργειας και 24% των ενεργειακών αναγκών μέχρι το 2020. Η χρήση της βιομάζας σε συνδυασμένα συστήματα παραγωγής θερμότητας και ενέργειας είναι η πλέον αποδοτική λύση. (Ξένου, 2017)

#### 2.2.6 Γεωθερμική Ενέργεια

Σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας ο ορισμός της γεωθερμίας είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Ανάλογα με τη θερμοκρασία, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές:

1. Η υψηλής ενθαλπίας (>150 °C) χρησιμοποιείται συνήθως για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Η μέσης ενθαλπίας (80 έως 150 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση ή και ξήρανση ξυλείας και αγροτικών προϊόντων καθώς και μερικές φορές και για την παραγωγή ηλεκτρισμού (π.χ. με κλειστό κύκλωμα φρέον που έχει χαμηλό σημείο ζέσεως).

3. Η χαμηλής ενθαλπίας (25 έως 80 °C) που χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, για θέρμανση θερμοκηπίων, για ιχθυοκαλλιέργειες, για παραγωγή γλυκού νερού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η γεωθερμία δεν είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας αφού τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα, λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της χώρας μας, κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου του Νοτίου Αιγαίου (Μήλος, Νίσυρος, Σαντορίνη), μπορεί να έχει ευρεία εφαρμογή για τη θερμική αφαλάτωση του θαλασσινού νερού, κυρίως στις άνυδρες νησιωτικές και παραθαλάσσιες περιοχές. Μία τέτοια εφαρμογή έχει χαμηλότερο κόστος από εκείνο που απαιτείται για τον εφοδιασμό των περιοχών αυτών με πόσιμο νερό, μέσω υδροφόρων πλοίων. (Ξένου, 2017)

## 2.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)

Οι ΑΠΕ όπως αναφέρθηκε παραπάνω είναι μια αποδεκτή και ίσως η μόνη λύση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που αντιμετωπίζουμε λόγω της αλόγιστης χρήσης των Συμβατικών Πηγών Ενέργειας. Παρόλο των πλεονεκτημάτων των ΑΠΕ και των μεγάλων οφελών, υπάρχουν αρκετές αντιφάσεις που επηρεάζουν και εμποδίζουν την κατασκευή των έργων ΑΠΕ.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι τα εξής:

Οι τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας χρησιμοποιούν πόρους κατευθείαν από το περιβάλλον για να παράγουν ενέργεια. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν θα εξαντληθούν, κάτι που δεν μπορεί να λεχθεί για πολλούς τύπους ορυκτών καυσίμων - καθώς χρησιμοποιούμε πόρους από ορυκτά καύσιμα, θα είναι όλο και πιο δύσκολο να επιτευχθούν, πιθανόν να οδηγήσουν τόσο στο κόστος όσο και στην περιβαλλοντική επίδραση της εξόρυξης.

Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα, αποβλέποντας στην παγκόσμια προσπάθεια για μείωση της ρύπανσης.

Η χρήση ανανεώσιμης ενέργειας μπορεί να βοηθήσει στην εξοικονόμηση χρημάτων μακροπρόθεσμα. Το ποσό των χρημάτων που εξοικονομείται με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μπορεί να ποικίλει ανάλογα με διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της ίδιας της τεχνολογίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μετάβαση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας σημαίνει από εκατοντάδες έως χιλιάδες δολάρια εξοικονόμησης.

Οι απαιτήσεις συντήρησης είναι χαμηλότερες καθώς, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας απαιτούν λιγότερη συνολική συντήρηση από τις γεννήτριες που χρησιμοποιούν παραδοσιακές πηγές καυσίμων. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η παραγωγή τεχνολογίας όπως οι ηλιακοί συλλέκτες και οι ανεμογεννήτριες έχουν λίγα ή καθόλου κινητά εξαρτήματα και δεν βασίζονται σε εύφλεκτες πηγές καυσίμων για λειτουργία. Λιγότερες απαιτήσεις συντήρησης μεταφράζονται σε περισσότερο χρόνο και χρήματα. (Λωσταράκου, 2019)

Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου. Επιπλέον συνεισφέρουν στην αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών με τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την προσέλκυση ανάλογων επενδύσεων. Επίσης, οι ΑΠΕ είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.

Παρόλα αυτά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν παύουν να έχουν όπως και κάθε τεχνολογία κάποια μειονεκτήματα:

Ο συντελεστής απόδοσης είναι μικρός, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερος, και σε συνδυασμό με το κόστος επένδυσης τους καθίστανται πιο ακριβές από τις συμβατικές μονάδες.

Αδυνατούν να καλύψουν ανά πάσα στιγμή την ζήτηση του συστήματος, διότι μπορεί να υπάρξουν απρόβλεπτα καιρικά φαινόμενα που διαταράσσουν αυτές τις τεχνολογίες. Τα ορυκτά καύσιμα δεν είναι διακεκομμένα και μπορούν να ενεργοποιηθούν ή να απενεργοποιηθούν ανά πάσα στιγμή. Έτσι, λόγω της διαθεσιμότητά τους που είναι ενίοτε περιορισμένη και με διακυμάνσεις. Αυτό δημιουργεί επίσης την ανάγκη για χρήση εφεδρείας άλλων πηγών ενέργειας οπότε το κόστος παραγωγής ενέργειας ανεβαίνει. Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων. (Ξένου, 2017)

Επιπλέον, το παραπάνω γεγονός της διακεκομμένης λειτουργίας ορισμένων ΑΠΕ, υπάρχει μεγάλη ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας. Παρόλο που υπάρχουν σήμερα διαθέσιμες τεχνολογίες αποθήκευσης, είναι αρκετά δαπανηρές, ειδικά για εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας.

Μειονέκτημα είναι επίσης και οι γεωγραφικοί περιορισμοί καθώς, η εύρεσης κατάλληλων τοποθεσιών είναι περιορισμένη διότι δεν μπορούν να εγκατασταθούν παντού, παρά μόνο εκεί που οι κλιματολογικές και φυσικές συνθήκες το επιτρέπουν (πχ. περιοχές με αιολικά δυναμικά, ποτάμια κ.λ.π.)

Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα που μπαίνει εμπόδιο στην κατασκευή των ΑΠΕ και εδώ εντάσσονται και οι περισσότερες αρνητικές απόψεις των κατοίκων και των τοπικών οργανώσεων για την εγκατάσταση των ΑΠΕ, είναι της ποιότητας του φυσικού περιβάλλοντος και η οπτική όχληση που δημιουργεί η χωροθέτηση ενός έργου ΑΠΕ. Ειδικότερα, στην περίπτωση της χωροθέτησης χερσαίων αιολικών εγκαταστάσεων, οι παράγοντες που θα μπορούσαν να σχετιστούν με τον βαθμό της κοινωνικής αποδοχής (ιδιαίτερα της τοπικής κοινότητας) ενδεικτικά είναι το μέγεθος, την εγγύτητα, την εξάπλωση, το χρώμα, την τοποθεσία, την ευαισθησία/σημασία τοποθεσίας, τον τύπο ιδιοκτησίας, το κόστος/οφέλη παραγωγής κ.α.. Αν ο συνδυασμός των παραπάνω

παραγόντων επηρεάζουν αρνητικά τις αντιλήψεις περί ελκυστικότητας τους, τότε αυτές είναι ικανές να επισκιάσουν τα θετικά πλεονεκτήματα της ανάπτυξης του εν λόγω έργου. (Theresa M. Groth et al, 2014). Επίσης, σημαντική είναι η κατανόηση του γεγονότος ότι οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθούν με σωστή αντιμετώπιση και προσχεδιασμό.

Όσον αφορά τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι προκαλούν επιπτώσεις στον πληθυσμό και στην υγεία. Σύμφωνα με την βιβλιογραφική επισκόπηση, οι κύριες διαταραχές που προκαλεί η χωροθέτηση χερσαίων αιολικών εγκαταστάσεων στην ανθρώπινη υγεία είναι:

- Ο Θόρυβος
- Το τρεμόπαιγμα σκίασης
- Η ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή

Η χωροθέτηση των χερσαίων αιολικών εγκαταστάσεων καθώς και των συνοδών τους έργων, συχνά συνδέεται με τις δυσμενείς επιπτώσεις που μπορεί να προκαλέσει σε επίπεδο βιοποικιλότητας, αποτελώντας ένα ιδιαίτερα κρίσιμο και αμφιλεγόμενο ζήτημα. Σύμφωνα με την σύγχρονη βιβλιογραφία οι επιπτώσεις στην βιοποικιλότητα αφορούν κυρίως στην διαταραχή, στην καταστροφή, στον κατακερματισμό ή/και στην υποβάθμιση των οικοτόπων (RIDA, 2012). Ειδικότερα κατά τα στάδια κατασκευής, λειτουργίας και απόσυρσης ενδέχεται να προκληθούν. (José F. Herbert-Acero, 2014) Επίσης, υπάρχουν απόψεις ότι οι ΑΠΕ και κυρίως οι ανεμογεννήτριες επιδράσουν στον πληθυσμό των πουλιών, είναι σαφές επίσης ότι η όποια ενόχληση στην ορνιθοπανίδα είναι μεγαλύτερη κατά τη φάση κατασκευής - εγκατάστασης του αιολικού πάρκου απ' ότι κατά την φάση λειτουργίας του έργου. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί. (Αποστόλου, 2018)

Καλό θα ήταν ανέγγιχτοι φυσικά τοπία όπως τα Άγραφα αλλά και ένα από τα λιγοστά ποταμιά της Ευρώπης που δεν έχουν τοποθετηθεί μεγάλα έργα και παρεμβάσεις, που θα αλλοιώσουν τον ποταμό, οπού αυτός είναι ο Αώος ποταμός, οπού η κοινωνία διαμαρτύρεται για την τοποθέτηση αιολικών πάρκων και υδροηλεκτρικών

έργων και φραγμάτων αντίστοιχα, να παραμείνουν έτσι, χωρίς παρεμβάσεις. Η κατασκευή έργων ΑΠΕ σε τέτοιου είδους προστατευμένες περιοχές να μην λάβουν μέρος για να μην επηρεαστούν αλλά να μείνουν ανέγγιχτοι έτσι ώστε να υπάρχουν και τοπία αλλά και οικοσυστήματα που να μην επηρεαστούν καθόλου από τις ανθρώπινες οχλήσεις αυτού του είδους των έργων έστω και αν είναι μικρές.

## 2.4 Ιστορική αναδρομή – Διεθνής Συμφωνίες

Ιστορικά οι προσπάθειες αξιοποίησης των ΑΠΕ μπορούν να φανούν μέσω των διασκέψεων κορυφής όπου τέθηκαν στόχοι που αφορούν βασικά τη συνέχιση της ζωής στον πλανήτη και οι οποίοι δεν μπορούν να επιτευχθούν χωρίς ριζικές αλλαγές στη δομή του παγκόσμιου ενεργειακού συστήματος. (Αποστόλου, 2018) Το 1987 η Επιτροπή του Ο.Η.Ε όρισε πως βιώσιμη ή αυτοσυντηρούμενη ή αειφορική ανάπτυξη είναι αυτή που ικανοποιεί τις ανάγκες του παρόντος, χωρίς να μειώνει την ικανότητα των μελλοντικών γενεών ανθρώπων να ικανοποιήσουν τις δικές τους (Βλάχου, 2001). Το 1992 οι διασκέψεις κορυφής στο Ρίο και στο Γιοχάνεσμπουργκ είχαν ως κύριο θέμα το μέλλον του πλανήτη και την βιώσιμη ανάπτυξη. Ταυτόχρονα με την «Ατζέντα 21» ο ΟΗΕ, κάλεσε για νέες πολιτικές και προγράμματα που θα είχαν ως στόχο την αύξηση της συνεισφοράς περιβαλλοντικά ασφαλών ενεργειακών συστημάτων. (Κορωναίος, 2012)

Η πρώτη προσπάθεια για τον περιορισμό των περιβαλλοντικών προβλημάτων έγινε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στα τέλη της δεκαετίας του '80 όπου έθεσε στους βασικούς της στόχους την ανάπτυξη και αξιοποίηση των ΑΠΕ. Για πρώτη φορά, το 1997, ψηφίστηκε η Λευκή Βίβλος ("Ενέργεια για το Μέλλον" 1997) με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος και την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού (GreenPaper «Στρατηγική για την Ασφάλεια της παροχής Ενέργειας» 2000). Κεντρικός στόχος της Λευκής Βίβλου είναι ο διπλασιασμός των ΑΠΕ στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση της Ε.Ε από 6% που ήταν το 1995 σε 12% το 2010. Η Λευκή Βίβλος αναφέρει ότι η επίτευξη του στόχου είναι δυνατή μόνο αν οι ΑΠΕ υποστηριχτούν οικονομικά και πολιτικά τόσο

από τα κράτη-μέλη όσο και από την ΕΕ. Ήδη, τα περισσότερα κράτη-μέλη υποστηρίζουν τις ΑΠΕ με διαφορετικούς τρόπους και μηχανισμούς (Στυλιάρη, 2015).

Επίσης όπως είναι γνωστό, σύμφωνα με το Πρωτόκολλο Κιότο (1998), που τέθηκε πρόσφατα σε ισχύ, προβλέπεται μείωση των τιμών των Αερίων του Θερμοκηπίου στην ΕΕ κατά 8% το 2008-2012 από τα επίπεδα του 1990. (Παπαλαζαρίδου, 2009).

Η εξέλιξη των ΑΠΕ σε κοινοτικό επίπεδο επήλθε και με την έκδοση της Οδηγίας 2001/77/ΕΚ «για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» (Οικονόμου, 2007). Η οδηγία αναφέρει ότι για την προαγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές στην εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, έχει τεθεί ως στόχος στην ΕΕ οι ΑΠΕ να αποτελούν το 12% της ακαθάριστης ενεργειακής κατανάλωσης και το 22.1% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρισμού στην Κοινότητα έως το 2010 (άρθρο 3). Αναφορικά με την Ελλάδα, η Οδηγία για την προώθηση κατά προτεραιότητα ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) ενσωματώθηκε με τον Ν. 3468/2006 'Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις' ο ενδεικτικός στόχος, όσον αφορά στη συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε ποσοστό 20.1% μέχρι το 2010 και σε ποσοστό 29% μέχρι το 2020. (Λάμπρου, 2017)

Στην Διάσκεψη της Κοπεγχάγης τον Δεκέμβριο του 2009, τεθήκαν για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ως κύριοι στόχοι οι εξής:

- Ο συνολικός δεσμευτικός στόχος για τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών στον τομέα της ενέργειας είναι 20% στην τελική κατανάλωση, για το έτος 2020.
- Θεσπίζονται νέοι μηχανισμοί, όπως οι στατιστικές μεταβιβάσεις μεταξύ κρατών μελών ή τρίτων χωρών.

- Θεσπίζονται εγγυήσεις προέλευσης της ηλεκτρικής ενέργειας και της ενέργειας θέρμανσης και ψύξης, οι οποίες παράγονται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.

Οι ΑΠΕ ενισχύθηκε σημαντικά από ορισμένα προγράμματα. Το πρόγραμμα ALTENER αποτέλεσε ένα εξελισσόμενο πολυετές πλαίσιο για την ευρωπαϊκή χρηματοδότηση μελετών, πληροφόρησης και άλλων μέτρων που στόχευαν στην εφαρμογή των κοινοτικών στόχων και σχεδίων για τις ΑΠΕ, επιπλέον το πρόγραμμα JOULE – THERMIE για την τεχνολογία της έρευνας.

Αναφορικά με την προώθηση των βιοκαυσίμων η Ευρωπαϊκή Επιτροπή με τις οδηγίες 2003/96/ΕΚ και 2003/30/ΕΚ σχετικά «με την προώθηση της χρήσης βιοκαυσίμων ή άλλων ανανεώσιμων καυσίμων για τις μεταφορές» που συγκεκριμένα θέτει τα θεμέλια για την προώθηση των εναλλακτικών καυσίμων στην Ευρωπαϊκή Ένωση με σκοπό είχε την προώθηση της αύξησης της χρήσης βιοκαυσίμων.

Παράλληλα, μέσω του προγράμματος δράσης «Ευφυής ενέργεια – Ευρώπη» (2007 – 2013) η Ευρωπαϊκή Ένωση αποσκοπούσε στην καλύτερη διαχείριση της εξάρτησης της από εισαγωγές ενέργειας και της τήρησης των δεσμεύσεων του Πρωτοκόλλου του Κιότο για την καταπολέμηση της αλλαγής του κλίματος. Απώτερος στόχος ήταν η χρηματοδότηση πρωτοβουλιών ανάπτυξης στους τομείς της εξοικονόμησης ενέργειας και των ΑΠΕ. (Ξένου, 2017)

Στις 22.01.2014 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή προέβη σε ανακοίνωση προς το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών «Πλαίσιο πολιτικής για ο κλίμα και την ενέργεια κατά την περίοδο από το έτος 2020 έως το 2030». Αναλυτικότερα το πρόγραμμα περιλάμβανε στόχους που απέβλεπαν στην μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και στην αύξηση της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας . Συγκεκριμένα προβλεπόταν η χρήση ΑΠΕ στον τομέα της κατανάλωσης ενέργειας τουλάχιστον κατά ποσοστό 27% με δυνατότητα στα κράτη μέλη μεταρρύθμισης του συστήματος εμπορίας . Το πλαίσιο αυτό αποτελεί δεσμευτικό στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά ποσοστό 40% έως



το 2030. Αργότερα, στις 25.02.2015 Ευρωπαϊκή Επιτροπή με νέα της ανακοίνωση δεσμεύτηκε πως η Ευρωπαϊκή Ένωση θα αποτελέσει κέντρο έρευνας και καινοτομίας για την καλύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ με το πρόγραμμα «Ορίζοντας 2020». Μάλιστα, το πρόγραμμα «Ορίζοντας 2020» της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη χρονική περίοδο 2014 – 2020 στοχεύει στην χρηματοδότηση νέων καινοτόμων τεχνολογιών βιώσιμης ανάπτυξης και καθαρών μορφών ενέργειας. Στόχος που είχε ήδη τεθεί στο Σχέδιο Συνθήκης για το Ευρωπαϊκό Σύνταγμα (άρθρο III-157), στη Συνθήκη της Λισσαβόνας (άρθρο 2 παρ. 147). (Ξένου, 2017)

Επιπλέον σημαντική αρωγή για την χρηματοδότηση νέων έργων αναμένεται να επιτευχθεί μέσω του Ευρωπαϊκού Ταμείου Στρατηγικών Επενδύσεων (ΕΤΣΕ) που αποτελεί τον πυρήνα του επενδυτικού σχεδίου για την Ευρώπη, το οποίο επιδιώκει την τόνωση της μακροπρόθεσμης οικονομικής ανάπτυξης και ανταγωνιστικότητας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Στόχος του Ταμείου είναι να συμβάλει στη χρησιμοποίηση δημοσίων κεφαλαίων, μεταξύ άλλων από τον προϋπολογισμό της ΕΕ, με σκοπό την κινητοποίηση ιδιωτικών επενδύσεων για ευρύ φάσμα έργων υλοποιούμενων στην ΕΕ.

Δεν υπήρξε καμία δεσμευτική συμφωνία για βραχυπρόθεσμη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) μέχρι το 2020 και δεν υπήρξε δεσμευτική συμφωνία ούτε για τη θέσπιση μακροπρόθεσμου στόχου μείωσης των εκπομπών, ενώ ο αρχικός στόχος ήταν να συμφωνηθεί μείωση 50% μέχρι το 2050.

#### 2.4.1 Εθνικό θεσμικό πλαίσιο

Η Ελλάδα ως μέλος της ευρωπαϊκής ένωσης για πάνω από 30 χρονιά ως κράτος-μέλος συμμετέχει σε όλες τις σύγχρονες Οδηγίες με θέμα τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Έτσι, η εθνική νομοθεσία και τα σχέδια δράσης, επάνω σε αυτόν τον τομέα εντάσσονται διαρκώς σε ένα πλαίσιο κοινοτικής πολιτικής, προσαρμοσμένο στα μέτρα, τις διαφοροποιήσεις και τις εκάστοτε συνθήκες της Ελλάδας.

Το νομοθετικού πλαισίου των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε εθνικό επίπεδο παρατηρούμε πως πρώτη οργανωμένη προσπάθεια συνέβη εντός της δεκαετίας του '80. Αρχή της εισόδου των ΑΠΕ στην ελληνική νομοθεσία αποτέλεσε ο Ν. 1475/1984 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού» ήταν ο πρώτος νόμος στην Ελλάδα που ρύθμιζε ζητήματα ΑΠΕ και συγκεκριμένα το θέμα της γεωθερμίας. Στη συνέχεια επεκτάθηκε με τον Ν.1559/85, «Ρύθμιση θεμάτων εναλλακτικών μορφών ενέργειας και ειδικών θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις». Στο πλαίσιο του οποίου, οδήγησε σε μια μικρής κλίμακας νέα εγκατεστημένη ισχύ από την ΔΕΗ και την τοπική αυτοδιοίκηση (24 και 3 MW αντίστοιχα), χωρίς την συνεισφορά του ιδιωτικού τομέα, ο οποίος τροποποιήθηκε με τον Ν. 1914/1990, έδινε τη δυνατότητα ίδρυσης σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από φυσικά ή νομικά πρόσωπα με οποιοδήποτε καύσιμο επομένως και ΑΠΕ, με τον όρο η παραγόμενη Ενέργεια να διατίθεται αποκλειστικά στη ΔΕΗ. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά τον Ν.1559/85 έγινε ακόμη πιο ευρύ το πλαίσιο σχετικά με την προώθηση κάθε είδους δραστηριότητας από ΑΠΕ. Συγκεκριμένα με το ΠΔ 375/1987 ιδρύθηκε το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας στην Ελλάδα μέσω των ΑΠΕ.

Στην συνέχεια ο Νόμος Ν. 2244/1994 «Ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις»: Ο νόμος αυτός βασίζεται στον τότε αντίστοιχο γερμανικό νόμο (Stromeinspeisungsgesetz), και αποτέλεσε σημαντική βάση για την ανάπτυξη και την εξέλιξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα. Με τον συγκεκριμένο νομό άλλαξε το τοπίο στην Ελλάδα καθώς έδωσε οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ στην χώρα με την προσέλκυση ιδιωτικών κεφαλαίων. Βασική κατεύθυνση του Ν.2244/1994 εναρμονίζεται με τα μέτρα που ισχύουν σχεδόν σε όλα τα κράτη μέλη της Ε.Ε. με σκοπό την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας

Αργότερα οι ρυθμίσεις για τις ΑΠΕ συμπεριελήφθησαν και στο Ν. 2773/1999 περί απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το θεσμικό πλαίσιο περιλάμβανε οδηγίες και κανονισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τις αντίστοιχες προσαρμογές της

ελληνικής νομοθεσίας για την εναρμόνιση της με την ισχύουσα κοινοτική νομοθεσία (Οδηγία 1996/92/ΕΚ).

Με το Ν. 2941/2001 έγινε μια προσπάθεια απλοποίησης των διαδικασιών αδειοδότησης των έργων ΑΠΕ, ενώ ορίστηκε ότι τα έργα παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ και σύνδεσης χαρακτηρίζονται ως έργα δημόσιας ωφέλειας, ανεξάρτητα από τον φορέα υλοποίησής τους (αρ. 2), δίνοντας τη δυνατότητα αναγκαστικής απαλλοτρίωσης ακινήτων ή σύστασης εμπράγματων δικαιωμάτων, όταν αυτό αναγκαίο, επιπλέον με το Ν.2941/2001 τα έργα ΑΠΕ ενταχθήκαν στα μεγάλα έργα υποδομής και έτσι να επιτρέπεται η υπό προϋποθέσεις εγκατάστασή τους σε δάση και δασικές εκτάσεις.

Αλλά και ο Ν. 3175/2003 «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού, τηλεθέρμανση και άλλες διατάξεις», ενσωματώνοντας τις τροποποιήσεις της Οδηγίας 2003/54 ΕΚ, ρύθμιζε ζητήματα σχετικά με τη γεωθερμία. Εν συνεχεία η οδηγία 2003/30/ΕΚ εναρμονίστηκε με το νομοθετικό πλαίσιο της Ελλάδας στις 13 Δεκεμβρίου 2005 θέτοντας σε ισχύ τον Ν. 3423/2005 "Εισαγωγή στην Ελληνική αγορά βιοκαυσίμων και λοιπών ανανεώσιμων καυσίμων".

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε Έκθεση της Ευρωπαϊκής Επιτροπής τον Μάιο του 2004, η Ελλάδα απεδείχθη αρνητική στην υποδοχή και την προώθηση των ΑΠΕ. (Ξένου, 2017)

Στον νόμο Ν. 3468/2006 «Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής απόδοσης και λοιπές διατάξεις»: καταγράφεται ένα τμήμα του πλαισίου της αδειοδότησης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας μόνο, αλλά και από υβριδικούς σταθμούς και την ένταξη αυτών στο Σύστημα ή το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο. Για τους επενδυτές φωτοβολταϊκών σταθμών, στο συγκεκριμένο νομοσχέδιο, δίνονται συγκεκριμένα κίνητρα, με στόχο την διάδοση της Ηλιακής Ενέργειας στην Ελλάδα. Επίσης, θεσμοθέτησε και τον εθνικό στόχο για την συμμετοχή της ηλεκτροπαραγωγής με χρήση ΑΠΕ το έτος 2010 με ποσοστό 20,1% και με ποσοστό 29% για το 2020 από το συνολικό ποσοστό ακαθάριστης εγχωρίας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας.

Αναφορικά με τον Ν 3734/2009 επιτεύχθηκε μια ουσιαστική βελτίωση της αδειοδοτικής διαδικασίας έργων ΑΠΕ σχετικά με τις απορριπτικές γνωμοδοτήσεις της

ΡΑΕ, τις άδειες παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας και τη διασφάλιση του καθεστώτος αδειοδότησης μικρών υδροηλεκτρικών έργων (ΜΥΗΕ). Επιπλέον έγιναν ρυθμίσεις για τη διευκόλυνση σύνδεσης στο σύστημα (ΔΕΣΜΗΕ) σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και νέες ρυθμίσεις για την ορθολογική ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής και τη διευκόλυνση εγκατάστασής τους σε κτήρια. Περαιτέρω με το Ν. 3734/2009 απλοποιείται σε κεντρικό επίπεδο η διαδικασία έκδοσης των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας. Οι οποίες πλέον εκδίδονται με Υπουργική Απόφαση και όχι με Κοινές Υπουργικές Αποφάσεις.

Κύριο σημείο για την ελληνική νομοθεσία για τις ΑΠΕ είναι οι ουσιώδεις μεταβολές που επήλθαν στη συνέχεια με το Ν. 3851/2010 «Επιτάχυνση της Ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής» και το Ν. 4062/2012 με την ενσωμάτωση της Οδηγίας 2009/28/ΕΚ και 2009/30/ΕΚ όπου τέθηκαν εθνικοί στόχοι μέχρι το έτος 2020 όπως προκύπτουν και από την Οδηγία 2009/28/ΕΚ. Συγκεκριμένα, με το Ν. 3851/2010 καθορίστηκαν οι βασικοί εθνικοί στόχοι για:

- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας σε ποσοστό 20% (αντί του 18% που προβλέπει η Οδηγία).
- Συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην ακαθάριστη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε ποσοστό τουλάχιστον 40%. Με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ήδη Υπουργού Περιβάλλοντος και Ενέργειας), η οποία δύναται να αναθεωρείται, καθορίζεται η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος και η κατανομή της στο χρόνο μεταξύ των διαφόρων τεχνολογιών ΑΠΕ, οι κατηγορίες παραγωγών, η κατανομή μεταξύ αυτών, οι λόγοι αναθεώρησής της, καθώς και οι λόγοι και η διαδικασία για τυχόν αναγκαία αναστολή της αδειοδοτικής διαδικασίας και άρση αυτής.
- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ποσοστό τουλάχιστον 20%.

- Συμμετοχή της ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας στις μεταφορές σε ποσοστό τουλάχιστον 10%

Επιπλέον, με το νόμο αυτό γίνεται προσπάθεια περαιτέρω απλούστευσης και συντόμευσης της διαδικασίας αδειοδότησης νέων έργων ΑΠΕ με τον παραλληλισμό ορισμένων χρονοβόρων επιμέρους βημάτων και την κατάργηση άλλων, όπως η κατάργηση της Άδεια Παραγωγής για Φωτοβολταϊκούς και Ηλιοθερμικούς σταθμούς έως και 1 MW.

Με το Ν. 4203/2013 «Ρυθμίσεις θεμάτων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας» και το Ν. 4336/2015 «Συνταξιοδοτικές διατάξεις – Κύρωση σχεδίου Σύμβασης Οικονομικής Ενίσχυσης από τον Ευρωπαϊκό Μηχανισμό Σταθερότητας και ρυθμίσεις για την υλοποίηση της Συμφωνίας Χρηματοδότησης», επιχειρώντας την αξιοποίηση με τον καλύτερο τρόπο των κονδυλίων της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τέλος με τον Ν. 4414/2016 θεσπίστηκε νέο καθεστώς στήριξης των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης» συμβατό με τη χρηματοδότηση νέων καινοτόμων τεχνολογιών βιώσιμης ανάπτυξης (Πρόγραμμα «Ορίζοντας 2020» της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη χρονική περίοδο 2014 – 2020).

#### 2.4.2 Η μελλοντική πορεία του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος

Ειδικότερα, στο πλαίσιο του εθνικού ενεργειακού σχεδιασμού τίθενται βασικοί ποσοτικοί στόχοι πολιτικής για την περίοδο έως το έτος 2030, οι οποίοι απορρέουν από τις προτεραιότητες που έχουν διαμορφωθεί σε εθνικό επίπεδο, καθώς και από τις κλιματικές και ενεργειακές επιδιώξεις που έχουν αναπτυχθεί και συμφωνηθεί σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Οι βασικοί άξονες κατεύθυνσης του εθνικού ενεργειακού σχεδιασμού είναι η μείωση της εξάρτησης από την εισαγόμενη ενέργεια, η μεγιστοποίηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, η επίτευξη σημαντικής μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) μέχρι το 2050, καθώς και η προστασία του τελικού καταναλωτή. Ταυτόχρονα, η μηδενική αξιοποίηση της πυρηνικής ενέργειας και η περιορισμένη χρήση της τεχνολογίας

συλλογής και αποθήκευσης άνθρακα (CCS) αποτελούν με τη σειρά τους ουσιαστικές επιλογές στο πλαίσιο του σχεδιασμού.

Συμφώνα με τον εθνικό ενεργειακό σχεδιασμό «οδικός χάρτης για το 2050» όπου παρουσιάστηκε το 2012, μελετήθηκαν τρία σενάρια ώστε να προσδιορισθούν και να αξιολογηθούν εναλλακτικά μέτρα και πολιτικές για την εκπλήρωση των Εθνικών και των Ευρωπαϊκών στόχων.

1. Το Σενάριο «Υφιστάμενων πολιτικών» (ΥΦ) υιοθετεί συντηρητική υλοποίηση των πολιτικών για την ενέργεια και το περιβάλλον, προβλέποντας μέτριο επίπεδο περιορισμού των εκπομπών CO<sub>2</sub> μέχρι το 2050 (40% σε σχέση με το 2005) και μέτρια διείσδυση ΑΠΕ και εξοικονόμησης ενέργειας.

2. Το Σενάριο «Μέτρων Μεγιστοποίησης ΑΠΕ» (ΜΕΑΠ) υιοθετεί την πολιτική μεγιστοποίησης της διείσδυσης των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή (σε επίπεδο 100%), με στόχο τη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> κατά 60%-70% και ταυτόχρονη σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια και τις μεταφορές.

3. Το Σενάριο «Περιβαλλοντικών Μέτρων Ελαχίστου Κόστους» (ΠΕΚ) έχει τις ίδιες παραδοχές με το Σενάριο ΜΕΑΠ όσον αφορά τις εκπομπές CO<sub>2</sub> αλλά υπολογίζει το ποσοστό των ΑΠΕ στην ηλεκτροπαραγωγή ώστε να εξασφαλιστεί το ελάχιστο επενδυτικό κόστος.

Η μελλοντική εικόνα του ενεργειακού συστήματος όπως προκύπτει από τα δύο βασικά σενάρια ενεργειακής πολιτικής μπορεί να συνοψισθεί στα ακόλουθα σημεία:

- Μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 60%-70% έως το 2050 ως προς το 2005.
- Ποσοστό 85-100% ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ, με την αξιοποίηση όλων των εμπορικά ώριμων τεχνολογιών.
- Συνολική διείσδυση ΑΠΕ σε ποσοστό 60%-70% στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας μέχρι το 2050.
- Σταθεροποίηση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης λόγω των μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας.

- Σχετική αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας λόγω εξηλεκτρισμού των μεταφορών και μεγαλύτερης χρήσης αντλιών θερμότητας στον οικιακό και τριτογενή τομέα.
- Σημαντική μείωση της κατανάλωσης πετρελαιοειδών.
- Αύξηση της χρήσης βιοκαυσίμων στο σύνολο των μεταφορών στο επίπεδο του 31% - 34% μέχρι το 2050.
- Κυρίαρχο μερίδιο του ηλεκτρισμού στις επιβατικές μεταφορές μικρής απόστασης (45%) και σημαντική αύξηση του μεριδίου των μέσων σταθερής τροχιάς.
- Σημαντικά βελτιωμένη ενεργειακή απόδοση για το σύνολο του κτιριακού αποθέματος και μεγάλη διείσδυση των εφαρμογών ΑΠΕ στον κτιριακό τομέα.
- Ανάπτυξη μονάδων αποκεντρωμένης παραγωγής και έξυπνων δικτύων.

Το πρώτο κρίσιμο συμπέρασμα της ανάλυσης είναι ότι η προοπτική των υφιστάμενων πολιτικών οδηγεί σε περιορισμένη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> έως το 2050, που δεν συνάδει με τους ευρωπαϊκούς στόχους για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ούτε αποτελεί την οικονομικότερη εξέλιξη του ενεργειακού τομέα.

Τα σενάρια νέας ενεργειακής πολιτικής (σενάρια 2 και 3), στα οποία κυριαρχεί η υψηλή διείσδυση των ΑΠΕ στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση ενέργειας, επιτυγχάνουν μεγάλη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> (κατά 60% με 70% σε σχέση με το 2005) με ταυτόχρονη μείωση της εισαγόμενης ενέργειας καθώς και της ενεργειακής εξάρτησης της χώρας από εισαγωγές ορυκτών καυσίμων.

Είναι αξιοσημείωτο ότι μακροπρόθεσμα το κόστος ηλεκτρικής ενέργειας δεν παρουσιάζει σημαντική διαφοροποίηση για τα διάφορα σενάρια, εμφανίζοντας ελαφρά μικρότερες τιμές για τα σενάρια μειωμένων εκπομπών. Συγκεκριμένα, ακολουθεί πτωτική τάση μετά το 2030 ενώ η αυξημένη χρήση των ΑΠΕ και ο περιορισμός της καύσης ορυκτών καυσίμων εξασφαλίζει την περαιτέρω μείωση του κόστους μέχρι το 2050.

Τέλος, το εθνικό ενεργειακό σύστημα έχει τη δυνατότητα να διαφοροποιηθεί σημαντικά τα επόμενα χρόνια εκπληρώνοντας ταυτόχρονα του στόχους του. Η προσέλκυση επενδυτικών κεφαλαίων, για την υλοποίηση των προβλεπόμενων από τον ενεργειακό σχεδιασμό τεχνολογικών αλλαγών στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα, αποτελεί ιδιαίτερα σημαντική ευκαιρία εγχώριας οικονομικής ανάπτυξης σε διάφορους κλάδους οικονομικής δραστηριότητας (π.χ. ενεργειακός, κατασκευαστικός, εμπορικός κλάδος κλπ). (Εθνικός ενεργειακός σχεδιασμός, 2012)



## Κεφάλαιο 3 Βιβλιογραφική Επισκόπηση

Τα τελευταία χρόνια σημειώνεται έντονο ενδιαφέρον για επενδύσεις σε ΑΠΕ λόγω της κλιματικής αλλαγής και της Ευρωπαϊκής ενεργειακής πολιτικής που στηρίζει την απεξάρτηση από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Παρόλο που εδώ και αρκετά χρόνια λειτουργεί μια πληθώρα από εφαρμογές αυτών των τεχνολογιών π.χ. φωτοβολταϊκά και αιολικά πάρκα, υδροηλεκτρικοί σταθμοί κλπ., η ανάγκη για συγκεντρωτική ηλεκτροπαραγωγή από Α.Π.Ε παραμένει, στη προσπάθεια για ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας. Όπως διαφαίνεται λοιπόν, είναι πρόσφορο το έδαφος για μια πληθώρα επενδύσεων στον ενεργειακό χώρο της Ελλάδας που διαθέτει τεράστιο φυσικό πλούτο ικανό να υποστηρίξει και να δώσει βιώσιμο χαρακτήρα σε οποιαδήποτε επένδυση Α.Π.Ε. (Περωνικολής, 2014)

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι ένας σημαντικός πυλώνας του στρατηγικού σχεδίου «Ευρώπη 2020», που στοχεύει στην ενίσχυση της παραγωγής ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε ολόκληρη την ΕΕ. Το κλειδί αυτής της προσέγγισης είναι η συνεχιζόμενη συζήτηση σχετικά με το εάν τα εθνικά ή τοπικά έργα αποτελούν το «καλύτερο στοίχημα» για την κοινωνικοοικονομική ανάπτυξη των αγροτικών περιοχών (Walker and Devine-Wright, 2008) Καθώς η επιστήμη ολοένα εξελίσσει την τεχνολογία των Α.Π.Ε, η επιστημονική κοινότητα εξετάζει ενδελεχώς το θέμα της αξιολόγησης των επενδύσεων προς αυτό το προσανατολισμό. Όπως η πλειοψηφία των επενδύσεων που αξιολογούνται, έτσι και οι επενδύσεις που αφορούν τον ενεργειακό σχεδιασμό, και στη συγκεκριμένη περίπτωση της δημιουργίας ενός έργου Α.Π.Ε για ηλεκτροπαραγωγή, δεν χαρακτηρίζονται ως μονοδιάστατα προβλήματα.

Οι επενδύσεις ηλεκτροπαραγωγής σε Α.Π.Ε επηρεάζουν όχι μόνο την ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας, αλλά την καθημερινότητα των τοπικών κοινωνιών και τη

περιβαλλοντική ισορροπία στις περιοχές εγκατάστασης. Είναι σαφές ότι αρκετοί παράγοντες της Ελληνικής πραγματικότητας (πχ γραφειοκρατία), οι τοπικές κοινωνικές τάσεις, η ποικιλομορφία του γεωλογικού και κλιματικού δυναμικού, η διαφοροποίηση στη τεχνολογία των διαφόρων Α.Π.Ε και άλλες διαστάσεις συνθέτουν το πάζλ ενός πολυδιάστατου προβλήματος που χρήζει επιστημονικής μοντελοποιημένης μεθόδου για την επίλυση. (Περωνικολής, 2014)

Ανατρέχοντας στη βιβλιογραφία βλέπουμε μια πληθώρα προβλημάτων προς την αξιολόγηση των έργων των ΑΠΕ. Η αξιολόγηση των έργων και επενδύσεων είναι μια εξαιρετικά συνθέτη διαδικασία, η οποία εμπεριέχει σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας, κυρίως στις προβλέψεις που κάνει για ορισμένα οικονομικά ή αλλά μεγέθη. Η αξιολόγηση βασίζεται σε πάρα πολλές οικονομικές, εμπορικές και παραγωγικές παραδοχές, ενώ τα συμπεράσματα της πρέπει με την σειρά τους να δικαιολογούν με χρηματοοικονομικούς όρους τη σκοπιμότητα της επένδυσης. (Πολύζος, 2011)

Η αξιολόγηση των έργων αποτελεί πολλά προβλήματα πολλαπλών κριτηρίων, των οποίων ο προσδιορισμός της αξίας επιφέρει υψηλή αβεβαιότητα, που σε πολλές περιπτώσεις περιλαμβάνουν πολλαπλούς αποφασίζοντες. Παράλληλα είναι αναγκαίο να λαμβάνονται υπόψη οι προτιμήσεις των επενδυτών γεγονός δύσκολο προς ερμηνεία και συμπερίληψη στο μοντέλο επίλυσης. (Περωνικολής, 2014)

Κρίνεται αναγκαίο προτού γίνει η εισαγωγή στη θεμελίωση του προβλήματος να ερευνήσουμε την υπάρχουσα βιβλιογραφία, ώστε να έχουμε μια εικόνα της μέχρι τώρα επιστημονικής έρευνας γύρω από το πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε. Μετά από την έρευνα μας παραθέτουμε παρακάτω ανά κατηγορία τις μεθόδους αξιολόγησης που σχετίζονται ως προς το αντικείμενο ή την επιστημονική σκοπιά με τη παρούσα ανάλυση.

#### ➤ Η χρηματοοικονομική αξιολόγηση

Η χρηματοοικονομική αξιολόγηση αναγκαστικά βασίζεται σε πάρα πολλές οικονομικές, εμπορικές και παραγωγικές παραδοχές, ενώ τα συμπεράσματά της πρέπει με τη σειρά

τους να δικαιολογούν με χρηματοοικονομικούς όρους τη σκοπιμότητα της επένδυσης. Περιλαμβάνει τις εξής δύο βασικές διαδικασίες:

- τον εντοπισμό όλων των εσόδων (εισροών) και εξόδων (εκροών), που σχετίζονται με τη σχεδιαζόμενη επένδυση (cash-flow analysis) και
- τη χρήση μεθόδων και κριτηρίων, με βάση τα οποία οι παραπάνω εισροές και εκροές να μπορούν να αξιολογούνται (capital budgeting decision methods).

➤ Ποσοτική ή ποιοτική σύγκριση όλων των εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τις έρευνες που συγκρίνουν μεγέθη διάφορων εναλλακτικών πηγών που υπάρχουν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα η Μόσχου το 2012 στην έρευνα της με τίτλο “Σύγκριση των Εναλλακτικών Πηγών για την Παραγωγή Ενέργειας” κάνει σύγκριση των πηγών σε τρεις άξονες: της αποδοτικότητας, του κόστους και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.

Αντίστοιχη της παραπάνω έρευνας είναι αυτή των Ch Karakosta, Ch.Pappas, V.Marinakis, και J.Psarras με τίτλο “Renewable energy and nuclear power towards sustainable development: Characteristics and prospects, Renewable and Sustainable Energy Reviews” όπου γίνεται ποιοτική ανάλυση των Α.Π.Ε σε σύγκριση με την πυρηνική ενέργεια.

➤ Αξιολόγηση με χρήση μαθηματικό μοντέλου

Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει τις έρευνες που συγκρίνουν Α.Π.Ε, αλλά και συμβατικές μορφές ενέργειας με τη χρήση μαθηματικού μοντέλου, όπως οι Tolga Kaya, Cengiz Kahraman στην έρευνα τους με τίτλο "Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy TOPSIS methodology " όπου συγκρίνουν όλες τις εναλλακτικές μορφές ενέργειας με τη μέθοδο TOPSIS.

➤ Υβριδική Πολυκριτηριακή Μέθοδος

Αυτού του είδους την ανάλυση όπου μελετήθηκε από τους Reza Alizadeh, Leili Soltanisehat, Peter D.Lund και ο Hamed Zamanisabzi στην έρευνα με τίτλο “Βελτίωση του σχεδιασμού και της λήψης αποφάσεων για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσω μιας υβριδικής Πολυκριτηριακή μεθόδου” περιλαμβάνει ένα πλαίσιο για τον εντοπισμό και την άρση των εμποδίων που εμποδίζουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Βασίζεται στο συνδυασμό δύο μοντέλων: μοντέλα Οφέλους, Ευκαιρίας, Κόστους, Κινδύνου (BOCR) και Αναλυτικής Διαδικασίας (ANP). Στις αναλύσεις, χρησιμοποιείται το αμοιβαίο βάρος των στρατηγικών κριτηρίων όπως η τεχνολογία, η οικονομία, η ενεργειακή ευπάθεια, η ασφάλεια, τις παγκόσμιες επιπτώσεις και την ανθρώπινη ευημερία. Όπως επίσης η συγκεκριμένη έρευνα αναλύει τον ρόλο των υποδομών, των πολιτικών και των διοικητικών δομών στην ανανεώσιμη ενέργεια για τη διευκόλυνση της ανάπτυξής των ΑΠΕ.

➤ Πολυκριτήρια ή Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ)

Σε παρόμοια ερευνά (Βασιλάκης, 2019) εφαρμόστηκε η Πολυκριτηριακή Ανάλυση με χρήση ΓΣΠ για την εύρεση της καταλληλότερης θέσης εγκατάστασης ΑΠΕ με τη δημιουργία ενός μεθοδολογικού πλαισίου για την επιλογή της βέλτιστης θέσης εγκατάστασης Αιολικού Πάρκου, συνδυάζοντας την Πολυκριτήρια Ανάλυση Αποφάσεων (ΠΚΑ) και τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ). Πιο συγκεκριμένα στην ΠΚΑ εφαρμόζεται η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία, λαμβάνοντας υπόψη Τεχνικά Κριτήρια, Οικονομικά Κριτήρια, Κριτήρια Κάλυψης Γης καθώς και Κοινωνικά Κριτήρια. Απώτερος σκοπός είναι η βελτιστοποίηση και ο εμπλουτισμός του ήδη υπάρχοντος μεθοδολογικού πλαισίου που σχετίζεται με τη λήψη αποφάσεων σχετικά με την χωροθέτηση και εγκατάσταση έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ).

➤ Πολυκριτηριακή ανάλυση

Το πρόβλημα που καλούμαστε να επιλύσουμε ανήκει σε αυτή τη κατηγορία όπου σχετικές έρευνες έχουν γίνει με τη χρήση διαφορετικών πολυκριτηριακών μεθοδων. Η

Πολυκριτηριακή ανάλυση είναι δημοφιλείς στη χάραξη ενεργειακής πολιτικής και στη βιώσιμη διαχείριση ενέργειας, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και της κατανομής ενεργειακών πόρων (Kumar et al., 2017). Η Πολυκριτηριακή ανάλυση μπορεί να παρέχει λύσεις σε προβλήματα, συμπεριλαμβανομένων αντικρουόμενων κριτηρίων και πολλαπλών στόχων στις αποφάσεις ενεργειακού προγραμματισμού. ( Alizadeh et al.,2020) Η πολυκριτηριακή ανάλυση (ΠΑ) είναι η μέθοδος που χρησιμοποιείται για να ληφθούν αποφάσεις, σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα από ένα κριτήρια που πρέπει να ικανοποιηθούν για την επιλογή της καταλληλότερης απόφασης. Με την εφαρμογή της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι δυνατή η διαχείριση περίπλοκων προβλημάτων, διαχωρίζοντάς τα στις επιμέρους συνιστώσες τους. Σταθμίζοντας όλες τις παραμέτρους, τα συστατικά του προβλήματος συναθροίζονται για να συσταθεί το τελικό αποτέλεσμα (San Cristobal Mateo, 2012). Αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της βιβλιογραφίας που μελετήθηκε για την εκπόνησης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, ως επιλογή αξιολόγησης των έργων ΑΠΕ είναι η ΠΑ με διαφορά.

## Κεφάλαιο 4 Μέθοδοι – Βασικές Αρχές Πολυκριτηριακής Ανάλυσης για την Αξιολόγηση Έργων

Τα τελευταία 30 χρόνια, στο πλαίσιο της Επιχειρησιακής Έρευνας και της Επιστήμης των Αποφάσεων, αναπτύσσεται με εντυπωσιακά ταχείς ρυθμούς η περιοχή της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Analysis- MCDA) ή Πολυκριτηριακή Λήψη ή Υποστήριξης Αποφάσεων (Multi-Criteria Decision Making ή Decision Support).

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο χρησιμοποιείται για να περιορίσει τη σύγχυση που προκαλείται σε προβλήματα λήψης απόφασης όπου εμπλέκονται πολλά και διαφορετικά κριτήρια τα οποία αφορούν συγκεκριμένες επιλογές. Αποτελεί κομμάτι της Επιχειρησιακής Έρευνας και μέσω αυτής της μεθόδου επιτυγχάνεται η σύνθεση ενός μεγάλου όγκου πληροφοριών, διατηρώντας παράλληλα τους στόχους και τις προτιμήσεις του εκάστοτε λήπτη της απόφασης. (Καρασαββίδης, κ.α., 2009)

Η πολυκριτηριακή ανάλυση πλεονεκτεί σε σχέση με τις υπόλοιπες μεθόδους αξιολόγησης και αυτό γιατί, δεν υστερεί στην ποσοτική έκφραση και την αναγωγή σε χρηματικές μονάδες πολλών από τις επιπτώσεις. Η ΠΑ είναι μια από τις μεθόδους της θεωρίας των αποφάσεων και χρησιμοποιείται για την επίλυση σύνθετων προβλημάτων, τα οποία αφορούν τη διαχείριση ενός συνόλου ανταλλακτικών λύσεων. Τα προβλήματα της διαχείρισης των εναλλακτικών λύσεων μπορεί να λαμβάνει τις εξής μορφές: (Πολύζος, 2011)

- Επιλογής μιας μοναδικής λύσης, της βέλτιστης
- Επιλογή μιας ομάδας «αποδεκτών καλών λύσεων»
- Ταξινόμηση των λύσεων κατά σειρά φθίνουσας σημασίας

Η πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί μια συστηματική λογική και μαθηματική προσέγγιση που βοηθάει τους αποφασίζοντες να επιλύσουν διλήμματα που προκύπτουν από την επιδίωξη πολλών αντιμαχόμενων στόχων στην λήψη των αποφάσεων. Επιπλέον η πολυκριτηριακή ανάλυση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη όταν, εκτός από τη σύγκρουση των στόχων -κριτηρίων, υπάρχει σημαντική αβεβαιότητα στη μέτρηση των επιδόσεων των εναλλακτικών λύσεων σε κάθε κριτήριο, ή στη διατύπωση των προτιμήσεων του αποφασίζοντα. (Μακρυβέλιος, 2011)

Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι η πολυκριτηριακή ανάλυση δεν αποτελεί μια μεθοδολογία εύρεσης της άριστης λύσης στο εκάστοτε πρόβλημα, καθώς άριστη λύση δεν μπορεί να υπάρχει ουσιαστικά. Η ικανοποίηση των στόχων δεν μπορεί να είναι πλήρης γιατί τότε δε θα υπήρχε πρόβλημα απόφασης, καθώς η λύση που θα εμφάνιζε τις καλύτερες επιδόσεις σε όλα τα κριτήρια θα προκρινόταν χωρίς αμφιβολία ως προς την ορθότητα της απόφασης. (Διακουλάκη, 2005)

Οι διαθέσιμες λύσεις λοιπόν, παρουσιάζουν άριστη επίδοση μόνο ως προς έναν ή περισσότερους στόχους, αλλά όχι σε όλους. Στην πράξη οι αποφασίζοντες έρχονται αντιμέτωποι με αντιμαχόμενους στόχους και καλούνται να επιλέξουν για ποιους στόχους δεν είναι διατεθειμένοι να δεχτούν απόκλιση από το βέλτιστο και για ποιους μπορούν να είναι ελαστικοί. Με άλλα λόγια, η επίλυση προβλημάτων με πολλαπλά κριτήρια είναι συνδεδεμένη με την έννοια του συμβιβασμού. Συμβιβασμός για τον ίδιο το λήπτη της απόφασης που αποδέχεται ως αναγκαία τη σχετική απομάκρυνση από κάποιους στόχους του και συμβιβασμός μεταξύ των διαφορετικών ληπτών της απόφασης που αποδέχονται πιθανά επιπλέον απομάκρυνση από κάποιον στόχο προκειμένου να επιτευχθεί συναίνεση ως προς μια αποδεκτή λύση. (Διακουλάκη, 2005)

Το άτομο που λαμβάνει την απόφαση (Λήπτης Απόφασης) προσπαθεί πάντα να λαμβάνει τη βέλτιστη απόφαση. Η πραγματικά καταλληλότερη απόφαση μπορεί να ληφθεί μόνο όταν έχουμε να λάβουμε υπόψη μονάχα ένα κριτήριο. Στην πραγματικότητα όμως είναι αναγκαίο να ληφθούν υπόψη πολλά κριτήρια για την επιλογή μιας απόφασης και μάλιστα κάποιες φορές είναι πιθανό τα κριτήρια αυτά να είναι και ασύμβατα μεταξύ τους. Επομένως είναι αδύνατο να υπάρχει μια μοναδική

κατάλληλη απόφαση σε ένα πρόβλημα. Ο κάθε ενδιαφερόμενος εκτιμά διαφορετικά τα επιμέρους κριτήρια που επηρεάζουν ένα πρόβλημα αλλά και τη σπουδαιότητα αυτών. Γι' αυτό η διαδικασία λήψης στρατηγικών αποφάσεων χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αβεβαιότητας και υποκειμενικότητας (Zorounidis and Pardalos, 2010).

Η χρησιμότητα της πολυκριτηριακής ανάλυσης έγκειται στο γεγονός ότι βοηθάει τον αποφασίζοντα να οργανώσει τις διαθέσιμες πληροφορίες, να σκεφθεί συστηματικά για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε λύσης, να συνειδητοποιήσει τις προτιμήσεις και τις ανοχές του, έτσι ώστε να κάνει τους λιγότερο οδυνηρούς συμβιβασμούς. (Περονικολής, 2014)

### **Η διαδικασία της πολυκριτηριακής ανάλυσης**

Η επιστημονική περιοχή της πολυκριτηριακής ανάλυσης περιλαμβάνει κατ' αρχήν ένα θεωρητικό υπόβαθρο, στο οποίο αναπτύσσεται η βασική λογική για την προσέγγιση τέτοιου είδους προβλημάτων. Με βάση αυτό το θεωρητικό υπόβαθρο έχει αναπτυχθεί ένα πλήθος τεχνικών, κατάλληλων για την αντιμετώπιση ενός μεγάλου εύρους προβλημάτων που προκύπτουν στην πράξη. Αν και η ταξινόμηση των τεχνικών αυτών σε ιδιαίτερες κατηγορίες δεν είναι αυστηρή, διακρίνονται τέσσερις βασικές ομάδες μεθόδων:

- Μέθοδοι Υπεροχής
- Πολυκριτηριακός μαθηματικός προγραμματισμός
- Πολυκριτηριακή θεωρία χρησιμότητας
- Αναλυτική – Συνθετική Προσέγγιση

Το βασικό στοιχείο που διαφοροποιεί τις δύο πρώτες κατηγορίες είναι το είδος του συνόλου των επιλογών. Συγκεκριμένα, η πρώτη κατηγορία εφαρμόζεται σε προβλήματα που εξετάζουν ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών επιλογών, ενώ η δεύτερη σε προβλήματα με συνεχές σύνολο άπειρου αριθμού επιλογών, στα οποία κατ' αναλογία με τα προβλήματα γραμμικού μονοκριτηριακού προγραμματισμού, οι



μεταβλητές απόφασης μπορεί να παίρνουν οποιαδήποτε τιμή εντός ενός καθορισμένου πεδίου. (Ματσατσίνης και Ζοπουνίδης, 2007)

Η ταυτοποίηση του αντικειμένου της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης ως προς τα χαρακτηριστικά αυτά αποτελεί ένα πρώτο στάδιο της αναλυτικής διαδικασίας, που διευκολύνει την κατανόηση του προβλήματος και επιτρέπει την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου επίλυσης. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται

Στο στάδιο του προβλήματος:

1. καθορισμός του προβλήματος και επιλογή των πιθανών εναλλακτικών σεναρίων

2. επιλογή των κριτηρίων

3. μέτρηση των επιδόσεων και ταξινόμηση των κριτηρίων

4. εκτίμηση της βαρύτητας του κάθε κριτηρίου

5. δημιουργία του μοντέλου αξιολόγησης

6. καθορισμός των πιθανών περιοριστικών παραμέτρων ανάλογα με το αντικείμενο του εξεταζόμενου προβλήματος

7. τελική ταξινόμηση των εξεταζόμενων σεναρίων κατά σειρά βαθμολογίας με βάση τα χαρακτηριστικά του μοντέλου που θα επιλεγεί

Στο στάδιο ανάλυσης των αποτελεσμάτων:

1. ανάλυση ευαισθησίας της λύσης

2. προσδιορισμός της σύγκρουσης των κριτηρίων

### Έννοιες και προσεγγίσεις

**Απόφαση (Decision):** Η απόφαση σαν έννοια είναι μια νοητική διαδικασία η οποία έχει να κάνει με τη σύνθεση σκέψεων, κρίσεων και απόψεων λαμβάνοντας υπόψη διάφορα δεδομένα. Η λήψη της απόφασης αφορά μία διαδικασία που πραγματοποιείται για να ληφθεί απόφαση ενώ η απόφαση έχει να κάνει με τη βέλτιστη επιλογή μεταξύ

διαφορετικών σεναρίων. Εάν υπάρχει διαθέσιμο ένα σενάριο τότε χάνεται η έννοια της απόφασης αφού δεν υπάρχει πια η επιλογή.

**Ανάλυση Αποφάσεων (Decision Analysis):** Η λήψη αποφάσεων προϋποθέτει την ανάλυση των αποφάσεων. Η διαδικασία της ανάλυσης αποφάσεων περιλαμβάνει τις έννοιες της οικονομικής ανάλυσης καθώς και της αξιολόγησης κόστους-οφέλους, ώστε να γίνει η επιλογή της βέλτιστης στρατηγικής.

**Στόχοι (Goals):** Οι στόχοι συνδέονται άμεσα με το τι είναι επιθυμητό να επιτευχθεί από την επίλυση του ζητήματος και από τη λήψη της απόφασης. Οι στόχοι επηρεάζουν τα κριτήρια και την επιλογή του βέλτιστου εναλλακτικού σεναρίου.

**Αξία (Value):** Η αξία σε ένα πρόβλημα λήψης απόφασης εκφράζεται συνήθως σε οικονομικές μονάδες ή σε ικανοποίηση και διαφέρει από την έννοια της τιμής.

**Προτιμήσεις (Preferences):** Οι προτιμήσεις αποδίδουν την αξία σε εναλλακτικές επιλογές του αποφασίζοντα δηλαδή κάνουν φανερό το ήθος του αποφασίζοντα μέσω της ιεραρχίας που έχει επιλέξει ο ίδιος.

**Ποιότητα Απόφασης (Decision quality):** Η ποιότητα της απόφασης δίδεται από τον αποφασίζοντα και δεν συσχετίζεται με την έκβαση της απόφασης. Όταν η απόφαση, για παράδειγμα, στηρίζεται σε αβάσιμα δεδομένα και κριτήρια τότε η ποιότητα της απόφασης ορίζεται ως χαμηλή.

**Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων (Decision Support Systems–D.S.S.):** Στη σημερινή εποχή οι έννοιες του Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων και της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης είναι στενά συνδεδεμένες. Ως Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων νοείται το αλληλεπιδραστικό σύστημα (software) που χρησιμοποιούν οι τεχνικές Πολυκριτηριακής Ανάλυσης το οποίο ανακτά δεδομένα από μία ευρεία βάση δεδομένων, τα αναλύει σύμφωνα με τις ανάγκες του αποφασίζοντα και τα παρουσιάζει σε κατανοητή μορφή. Βασικός ρόλος των Συστημάτων Υποστήριξης Αποφάσεων είναι η περιγραφή συστημάτων που έχουν ως στόχο να βοηθήσουν τον αποφασίζοντα να αξιοποιήσει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τα δεδομένα και τα μοντέλα καθιστώντας δυνατή τη αποτελεσματικότερη διοίκηση και οργάνωση. Η τυπική δομή του Συστήματος

Υποστήριξης Αποφάσεων περιλαμβάνει τη βάση δεδομένων, τη βάση των μοντέλων και τη διεπαφή/ επιφάνεια επικοινωνίας με τον χρήστη.

**Κριτήρια (criteria):** είναι κάποια μεγέθη με βάση τα οποία αξιολογούνται οι εναλλακτικές. Σε κριτήρια μεταφράζονται οικονομικοτεχνικές επιλογές που οφείλουν να είναι μετρήσιμες ώστε να μπορεί να διαμορφωθεί τελικά το εύρος καταλληλότητας ή ακαταλληλότητας της εναλλακτικής επιλογής όταν αυτή αξιολογείται ως προς τα κριτήρια του σχετικού ζητήματος. Τα κριτήρια είναι ουσιαστικά ένα μέσο στάθμισης του συνόλου των εναλλακτικών, είναι τα στοιχεία που τεκμηριώνουν την επιλογή της απόφασης.

**Συντελεστές βαρύτητας:** Για την επίλυση ενός ζητήματος απόφασης πρέπει να προσδιορισθεί και το ποσοστό που κάθε κριτήριο που περιλαμβάνεται συμμετέχει στη συνολική αξιολόγηση. Το πόσο σημαντικό είναι το κάθε κριτήριο εκφράζεται ποσοτικά με τους συντελεστές βαρύτητας και το άθροισμά τους ισούται με την μονάδα. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι εκτίμησης των συντελεστών βαρύτητας τόσο απλές όπως οι Άμεσες Μέθοδοι, οι Μέθοδοι Κατανομής (Point Allocation) όσο και σύνθετες όπως η Μέθοδος Μετατόπισης (Swing), η Απλή Πολυκριτηριακή Τεχνική Αξιολόγησης (SMART).

**Εναλλακτικές λύσεις (Alternatives):** Αφορούν τις διαφορετικές επιλογές που έχει στη διάθεσή του ο λήπτης της απόφασης να αξιολογήσει ένα ζήτημα. Οποιαδήποτε λύση ανήκει στο σύνολο των εξεταζόμενων λύσεων εάν είναι εφικτή δηλαδή αν εμφανίζει προοπτικές πρακτικής εφαρμογής και εάν δεν παραβιάζει τους περιορισμούς του ζητήματος. Οι εφικτές εναλλακτικές λύσεις διακρίνονται στις αποτελεσματικές/ κυρίαρχες λύσεις (efficient/ dominant) ή στις μη αποτελεσματικές/ κυριαρχούμενες λύσεις (non-efficient ή dominated). Η έννοια της αποτελεσματικότητας/ κυριαρχίας (efficiency/ dominance) έγκειται σε καταστάσεις ισορροπίας του συστήματος. Δεν είναι δυνατόν να βελτιώνεται η θέση ενός στοιχείου του εν λόγω συστήματος εάν ταυτοχρόνως δεν χειροτερεύει η θέση ενός άλλου στοιχείου που εμπλέκεται στο σύστημα αυτό.

**Πίνακας αξιολόγησης:** Το πιο σημαντικό στοιχείο ενός προβλήματος είναι ο πίνακας αξιολόγησης (Πίνακας 4.1), που περιλαμβάνει τα εξής:

$\alpha$	$g_1(\cdot)$	$g_2(\cdot)$	...	$g_j(\cdot)$	...	$g_k(\cdot)$
$\alpha_1$	$g_1(\cdot)(\alpha_1)$	$g_2(\cdot)(\alpha_1)$	...	$g_j(\alpha_1)$	...	$g_k(\cdot)(\alpha_1)$
$\alpha_2$	$g_1(\cdot)(\alpha_2)$	$g_2(\cdot)(\alpha_2)$	...	$g_j(\alpha_2)$	...	$g_k(\alpha_2)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\backslash$	$\vdots$	$\backslash$	$\vdots$
$\alpha_i$	$g_1(\cdot)(\alpha_i)$	$g_2(\cdot)(\alpha_i)$	...	$g_j(\alpha_i)$	...	$g_k(\alpha_i)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\backslash$	$\vdots$	$\backslash$	$\vdots$
$\alpha_n$	$g_1(\alpha_n)$	$g_2(\alpha_n)$	...	$g_j(\alpha_n)$	...	$g_k(\alpha_n)$

Πίνακας 4.1: Πίνακας Αξιολόγησης (Πηγή: Ζαγγάνα, 2019)

όπου,  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n$ : εναλλακτικές ενέργειες εμφανίζονται στην πρώτη στήλη  $g_1(\cdot), g_2(\cdot), \dots, g_j(\cdot), \dots, g_k(\cdot)$ : το σύνολο των κριτηρίων αξιολόγησης εμφανίζονται στη πρώτη γραμμή.

Στα υπόλοιπα κελιά εμφανίζονται οι επιδόσεις των εναλλακτικών σε κάθε ένα από τα κριτήρια

**Αβεβαιότητα:** Η αβεβαιότητα προκύπτει τόσο από την αυξανόμενη πολυπλοκότητα των συστημάτων όσο και από τη συνεχή μεταβλητότητα των παραμέτρων κατά τη διάρκεια του χρόνου, τέτοια θέματα δυσκολεύουν την θέση του αποφασίζοντα. Οι παράγοντες μπορεί να έχουν εσωτερική αβεβαιότητα εξαιτίας του αποφασίζοντα, ο οποίος δεν έχει κατανοήσει με σαφήνεια τη φύση του εξεταζόμενου ζητήματος. Από την άλλη πλευρά οι παράγοντες πιθανώς έχουν εξωτερική αβεβαιότητα εξαιτίας της αλλαγής φαινομένων που παρατηρούνται στην αγορά (ζήτηση, προσφορά κ.ά.).

**Εμπλεκόμενοι (stakeholders):** Στους εμπλεκόμενους εντάσσονται ο αποφασίζων και όσοι έχουν άμεση ή έμμεση σχέση με το ζήτημα διότι τα αποτελέσματα της απόφασης θα τους επηρεάσουν. Πρόκειται για συλλογικό όργανο ή άτομο που έχει τη δύναμη να παρεμποδίσει την υλοποίηση της απόφασης όταν κατά την κρίση του εκείνη μάχεται με το συμφέρον του.

### **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Κάποια από τα πλεονεκτήματα της Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων είναι τα εξής:

- Εφαρμόζεται σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων.
- Ευκολία εφαρμογής αφού υπάρχει πλήθος λογισμικών που διατίθενται στην αγορά.
- Υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης των στόχων και των κριτηρίων εάν εν τέλει δεν είναι κατάλληλα.
- Τα ποιοτικά κριτήρια μπορούν μέσω της Πολυκριτηριακής ανάλυσης να εκφραστούν με φυσικές μονάδες.
- Τα βάρη μπορούν να διαμορφωθούν με κατάλληλες τεχνικές ώστε να είναι όσο πιο αντικειμενικά.

Έχει όμως και μειονεκτήματα:

- Η βαθμολόγηση των εναλλακτικών, των κριτηρίων και των συντελεστών βαρύτητας είναι συχνά πολύπλοκη.
- Οι συντελεστές βαρύτητας αποφασίζονται συνήθως από ένα άτομο έτσι οι συντελεστές εμπεριέχουν υποκειμενικότητα.
- Υπάρχει πλήθος μεθόδων και λογισμικών, αυτό απαιτεί τη γνώση σε βάθος του θεωρητικού υποβάθρου των μεθόδων από το μελετητή για να επιλέγεται σε κάθε ζήτημα η κατάλληλη μέθοδος και το αντίστοιχο λογισμό που θα τη στηρίξει.

## Κεφάλαιο 5 Μοντελοποίηση Του Προβλήματος Επιλογής Επένδυσης

### 5.1 Ορισμός του προβλήματος

Η παρούσα κατάσταση στην Ελλάδα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε δίνουν τη δυνατότητα σε υποψήφιους επενδυτές να συμμετάσχουν στον ενεργειακό χάρτη της χώρας. Έτσι δημιουργούνται ευκαιρίες ώστε μια εταιρεία (επενδυτής) να ενδιαφέρεται να επενδύσει στην κατασκευή και στη λειτουργία ενός έργου Α.Π.Ε στον Ελλαδικό χώρο κι επιθυμεί να γίνει η κατάλληλη επιλογή του είδους Α.Π.Ε και της μορφής αυτού (Διασυνδεδεμένου ή μη).

Στα πλαίσια της παρούσας έρευνας επιχειρείται η μοντελοποίηση του προβλήματος που καλείται να αντιμετωπίσει ο παραπάνω υποψήφιος επενδυτής όσον αφορά την επιλογή της καταλληλότερης επένδυσης με βάση τους στόχους τις οριοθετήσεις και τις προτιμήσεις αυτού. Η πολυδιάστατη μορφή του προβλήματος, μας οδηγεί στη πλέον επιστημονικά ορθή μέθοδο όπως αυτή της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Σε αυτό το σημείο είναι χρήσιμο να επισημανθεί ότι η τάξη μεγέθους του προς ανάλυση έργου είναι 8 έως 10 MW, ενώ για την αντικειμενικότερη διεκπεραίωση της έρευνας θεωρείται δεδομένο ότι κάθε εναλλακτικό έργο Α.Π.Ε καλείται να καλύψει την ίδια ετήσια ενεργειακή ζήτηση.

Στη συνέχεια ακολουθούν με κάθε βήμα τα στάδια της εφαρμογής της πολυκριτηριακής ανάλυσης για την επιλογή της βέλτιστης επένδυσης όπως αυτά αναλύθηκαν στο κεφάλαιο 4.

### 5.2 Εναλλακτικές επενδύσεις σε έργα Α.Π.Ε

Στην παρούσα ανάλυση, τα έργα Α.Π.Ε που θα αξιολογηθούν, επιλέχθηκαν με βάση τα ήδη υπάρχοντα και αυτά που μπορεί να υποστηρίξει ο Ελλαδικός χώρος με βάση τα κλιματικά και γεωλογικά δεδομένα του. Επίσης, επιλέχθηκε ως μέγεθος τους η τάξη των 8-10MW, μια περιοχή μεγέθους όπου μπορούν να υφίστανται όλες σχεδόν οι μορφές Α.Π.Ε.

#### 5.2.1 Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα)

Η τεχνολογία χερσαίων ανεμογεννητριών έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο κατά την τελευταία δεκαετία. Όπως επίσης και το κόστος εγκατάστασης τους έχει πτωτική πορεία με αποτέλεσμα την αυξημένη ανταγωνιστικότητα και ωριμότητα του τομέα. Το 2019 η ανάπτυξη των χερσαίων αιολικών πάρκων ήταν δεύτερη μετά τα φωτοβολταϊκά πάρκα παγκόσμιος. (IRENA, 2019)



Πηγή: <https://renewablesnow.com/>

Ο Ελλαδικός χώρος φιλοξενεί μια πληθώρα αιολικών πάρκων, τόσο στον ηπειρωτικό, όσο και το νησιωτικό χώρο. Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας σε σχέση με άλλα κράτη της ΕΕ είναι υψηλό και έτσι εξηγείται η υφιστάμενη εικόνα της εκμετάλλευσης των αρκετών αιολικών πάρκων της χώρας μας.

Όπως και οι υπόλοιπες Α.Π.Ε, έτσι και η αιολική μπορεί να συμβάλει στο ενεργειακό ζήτημα της Ελλάδας και των τοπικών κοινωνιών, ενώ παράλληλα η κατασκευή και η συντήρηση ενός αιολικού πάρκου είναι διαδικασίες πλέον αυτοματοποιημένες και ευκολότερες από αυτές του παρελθόντος. Τα σύγχρονα αιολικά πάρκα διασυνδεδεμένα στο δίκτυο έχουν ξεπεράσει όλα τα εμπόδια του παρελθόντος που επηρέαζαν την αξιοπιστία στη λειτουργία τους και έχουν ενταχθεί πλήρως σε αυτό, όπως και οι υπόλοιπες μέθοδοι ηλεκτροπαραγωγής. (Περωνικολής, 2014)

#### 5.2.2 Αιολικό πάρκο σε νησί (σε Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα)

Εκτός από τα διασυνδεδεμένα συστήματα η Ελλάδα υποστηρίζει και μη διασυνδεδεμένα συστήματα αιολικής ενέργειας για μικρά ή μεγάλα νησιά της.

Είναι εγκαταστάσεις που λειτουργούν αυτοδύναμα για την τροφοδότηση καθορισμένων καταναλώσεων, χωρίς να συνδέονται με μεγάλα κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής, από τα οποία θα μπορούσαν να αντλούν συμπληρωματική ενέργεια ή να στέλνουν την περίσσεια της παραγόμενης. Αποτελούν την ιδανικότερη λύση για

περιοχές που βρίσκονται μακριά από το κεντρικό δίκτυο και στις οποίες η διασύνδεσή τους με αυτό θα απαιτούσε τεράστια οικονομικά κεφάλαια.

Κατά αντιστοιχία με τα αυτόνομα φωτοβολταϊκά πάρκα σε μη διασυνδεδεμένα νησιά, θα εξετάσουμε και την επένδυση σε αιολικό πάρκο μη διασυνδεδεμένο στο Εθνικό Δίκτυο. Όπως είναι φυσικό, σε αυτήν την εναλλακτική πρόταση, στόχος είναι η ενεργειακή κάλυψη ενός νησιού το οποίο εξαρτάται από συμβατικά καύσιμα και σε πολλές περιπτώσεις η κοινωνία αντιμετωπίζει προβλήματα ασυνεχούς λειτουργίας αυτού εξαιτίας της υψηλής ζήτησης. (Περωνικολής, 2014)

Σε άλλα κράτη της ΕΕ τα μη διασυνδεδεμένα αιολικά πάρκα τα συναντάμε σε άλλου τύπου κατασκευής αυτού του (offshore wind parks) δηλαδή των αιολικών πάρκων στην θάλασσα κάτι που στην Ελλάδα δεν είναι εφικτό, λόγω πολλών αρνητικών παραγόντων όπως το βάθος των νερών, οι υποδομές κ.α.

### 5.2.3 Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα)

Μια προσέγγιση της φωτοβολταϊκής τεχνολογίας είναι η εφαρμογή των διασυνδεδεμένων φ/β συστημάτων, στα οποία η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτεί το δίκτυο. Στην Ελλάδα, η έντονη ηλιοφάνεια κάνει τις φωτοβολταϊκές διατάξεις μια ιδιαίτερα αποδοτική τεχνολογία. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι υλοποίησης, ανάλογα με το αν τροφοδοτείται κάποιο φορτίο απευθείας από το σύστημα ή όχι. Σε ένα διασυνδεδεμένο σύστημα το δίκτυο ενεργεί όπως μια μπαταρία με απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης. Επομένως, η συνολική αποδοτικότητα ενός διασυνδεδεμένου φ/β συστήματος, θα είναι καλύτερη από την αποδοτικότητα ενός αυτόνομου συστήματος, αφού το δίκτυο έχει πρακτικά απεριόριστη ικανότητα αποθήκευσης και επομένως η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μπορεί πάντοτε να αποθηκεύεται. (Περωνικολής, 2014)



Επιπλέον, οι φωτοβολταϊκές διατάξεις δεν χρησιμοποιούν κάποιο καύσιμο με αποτέλεσμα το κόστος συντήρησης και λειτουργίας τους να είναι εξαιρετικά χαμηλό. Κάποια επιπλέον πλεονεκτήματα των φωτοβολταϊκών συστημάτων είναι η μεγάλη διάρκεια ζωής τους, η αθόρυβη λειτουργία τους και η υψηλή αξιοπιστία τους. (Μόσχου, 2012)

#### 5.2.4 Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (σε Μη Διασυνδεδεμένο Σύστημα)

Η επόμενη προς εξέταση εναλλακτική είναι οι αυτόνομοι φ/β σταθμοί όπου λειτουργούν αποκλειστικά για την κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης του μη διασυνδεδεμένου νησιού. Τα έργα Α.Π.Ε σε τέτοιες περιοχές μπορούν να αποτελέσουν χρυσή τομή. Στον ελλαδικό χώρο, ο οποίος έχει πολυάριθμα μικρά νησιά και μικρούς οικισμούς, μπορούν να υποστηρίξουν αποδοτικά ένα φωτοβολταϊκό σταθμό καθώς τα αυτόνομα φ/β συστήματα έχουν βρει πολλές εφαρμογές, ενώ υπάρχουν ακόμα πολλές δυνατότητες ανάπτυξης.

Οστόσο, οι φωτοβολταϊκές διατάξεις εμφανίζουν και κάποια βασικά μειονεκτήματα τα οποία αναστέλλουν την περαιτέρω ανάπτυξή τους. Αυτά είναι η αδυναμία οικονομικής και αποδοτικής αποθήκευσης της ενέργειας καθώς επίσης και το ιδιαίτερα υψηλό κόστος εγκατάστασής τους (Μαμάσης, 2010).

#### 5.2.5 Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)

Μια άλλη εναλλακτική είναι ένας Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός μεγέθους 8-10 MW . Στην Ελλάδα λειτουργούν υδροηλεκτρικοί σταθμοί εδώ και αρκετά χρόνια. Ο υδάτινος φυσικός πλούτος της ηπειρωτικής Ελλάδας με τα πολυάριθμα ποτάμια μπορεί να υποστηρίξει πολλά ακόμη όμοια έργα. Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί λόγω της σταθερότητας στη λειτουργία τους, αλλά και το μεγάλο χρόνο ζωής τους, αποτελούν σταθμό παραγωγής ηλεκτρισμού με δυναμική ανάλογη εκείνης των ατμοηλεκτρικών σταθμών συμβατικών καυσίμων. Αποτελούν μεγάλα έργα, τόσο σε ζωή, όσο σε μελέτη και κατασκευή. (Περωνικολής, 2014)

### 5.2.6 Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία

Υπάρχουν τέσσερις συνολικά τύποι γεωθερμικών πηγών, οι υδροθερμικές, οι γεωπεπιεσμένες, τα θερμά ξηρά πετρώματα και το μάγμα. Από τις κατηγορίες αυτές, μόνο οι πηγές του πρώτου τύπου χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και αυτές θα μελετήσουμε εκτενέστερα. (Μόσχου, 2012)

Η εμπορική διερεύνηση και ανάπτυξη της γεωθερμικής ενέργειας μέχρι σήμερα έχει εστιάσει σε φυσικούς γεωθερμικούς ταμιευτήρες, δηλαδή όγκους πετρωμάτων με υψηλές θερμοκρασίες, μεγάλο πορώδες και υψηλή περατότητα. Οι ταμιευτήρες αυτοί παράγουν είτε νερό, είτε μίγμα νερού και ατμού, είτε μόνο ατμό, ανάλογα με το είδος της υδροθερμικής πηγής. (Μόσχου, 2012)

Η μετατροπή της γεωθερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική προϋποθέτει εγκαταστάσεις ανάλογες με αυτές των συμβατικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, γεγονός που υποδεικνύει το μεγάλο χρόνο ζωής του έργου, αλλά και την σταθερότητα σε παροχή ενέργειας με αδιάλειπτη λειτουργία. (Περωνικολής, 2014)

Στην Ελλάδα οι έρευνες που έγιναν έδειξαν την ύπαρξη πολλών γεωθερμικών πεδίων υψηλής και μέσης ενθαλπίας σε διάφορα νησιά. Τα τελευταία χρόνια έχει ξεκινήσει μια προσπάθεια αξιοποίησης της γεωθερμίας για την παραγωγή ηλεκτρισμού στον ελλαδικό χώρο αλλά μικρότερου μεγέθους των 10MW.

### 5.2.7 Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα

Ολοκληρώνοντας τα επτά εναλλακτικά επενδυτικά έργα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε θα εξετάσουμε την αξιοποίηση της βιομάζας.

Σε ότι αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τη βιομάζα, αυτή διαφέρει από τις υπόλοιπες ενεργειακές πηγές καθώς για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από τη βιομάζα είναι απαραίτητο να λειτουργούν δύο συστήματα ταυτόχρονα. Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται η λειτουργία ενός συστήματος τροφοδοσίας το οποίο παράγει, συλλέγει και παραδίδει το βιοκαύσιμο, σε συνδυασμό με ένα σταθμό που παράγει και

διαθέτει τον ηλεκτρισμό. Ιδιαίτερα αποδοτική για την παραγωγή ηλεκτρισμού θεωρείται η καύση της βιομάζας μαζί με κάποιο ορυκτό καύσιμο, συνήθως άνθρακα, καθώς η καύση πραγματοποιείται στις ήδη υπάρχουσες εγκαταστάσεις οι οποίες απαιτούν ελάχιστη τροποποίηση. Επιπλέον, με τη σύγκαυση επιτυγχάνεται μείωση των εκπομπών των αερίων ρύπων. (Μόσχου, 2012)

Η χρήση της βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρισμού ή θέρμανση ξεκίνησε στην Ελλάδα τα τελευταία χρόνια με μικρά βήματα. Μέχρι σήμερα δεν έχει εντατικοποιηθεί η αξιοποίηση αυτής της μορφής Α.Π.Ε σε μεγάλη κλίμακα. Εντούτοις τα δεδομένα είναι πολύ ενθαρρυντικά για τους μελλοντικούς επενδυτές, καθώς είναι πρόσφορο το έδαφος για την ανάπτυξή της. Η αγροτική παραγωγή σε συνδυασμό με τη κτηνοτροφία, τα αποθέματα ξυλείας, αλλά και την ανάπτυξη ενεργειακών καλλιεργειών παρέχουν όλη την απαραίτητη πρώτη ύλη για την ανάπτυξη ενεργειακής αξιοποίησης της βιομάζας. (Κατσίρη, 2011)

Ως εκ τούτου, συνάγουμε το συμπέρασμα πως η βιομάζα η οποία βρίσκεται σε αναπτυσσόμενη φάση αποτελεί δικαίως υποψήφια προς έρευνα για την επένδυση και αναμένεται στο μέλλον να διαδραματίσει καίριο ρόλο στον ενεργειακό σχεδιασμό της Ελλάδας.

### 5.3 Κριτήρια αξιολόγησης

Τα κριτήρια που επιλεχτήκαν για την πραγματοποίηση των πολυκριτηριακών αξιολογήσεων, που αναφέρθηκαν παραπάνω και που αποτελούν τους άξονες αξιολόγησης πάνω στους οποίους θα κριθούν οι εναλλακτικές λύσεις και θα εκφράσουν τις επιδιώξεις των αποφασίζοντων διακρίνονται για την πληρότητα τους, την συνάφεια τους με τους στόχους της αξιολόγησης και την διαφάνεια τους. (Μακρυβέλιου, 2011)

Με βάση τα δεδομένα της σχετικής βιβλιογραφίας καταλήξαμε στα κριτήρια και τις διαστάσεις που επιδρούν στο πρόβλημα. Ως μελετητές του ορισμένου προβλήματος κατηγοριοποιούμε τους παράγοντες που επιδρούν στην τελική απόφαση – επένδυση στα παρακάτω 4 βασικά κριτήρια:

- Οικονομικά
- Περιβαλλοντικά
- Τεχνικά
- Κοινωνικά

Στη συνέχεια κάθε κριτήριο αναλύεται στις διαστάσεις αξιολόγησης του προβλήματος από τις οποίες προκύπτουν οι μεταβλητές – υποκριτήρια. Το κάθε κριτήριο και οι πρωτογενείς μεταβλητές αυτών είναι οι παρακάτω:

**Οικονομικά κριτήρια:**

- Κόστος εγκατάστασης
- Κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Τιμή πώλησης ενέργειας

**Περιβαλλοντικά κριτήρια:**

- Επίδραση στο έδαφος
- Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες
- Ηχορύπανση
- Αλλοίωση τοπιού
- Απαιτούμενη έκταση

**Τεχνικά κριτήρια:**

- Αποδοτικότητα
- Αξιοπιστία
- Διάρκεια ζωής

**Κοινωνικά κριτήρια:**

- Θέσεις εργασίας
- Κοινωνική αποδοχή
- Προσθετά κοινωνικά οφέλη

### 5.3.1 Περιγραφή και αξία κριτηρίων

#### Οικονομικά κριτήρια

Είναι τα κριτήρια που περιλαμβάνουν τα κόστη, που παρουσιάζει κάθε, επίσης περιλαμβάνει τις διαστάσεις που επηρεάζουν άμεσα τα έσοδα που προκύπτουν από τη λειτουργία της κάθε εναλλακτικής. Το κριτήριο αυτό προκύπτει από τη σύνθεση των παρακάτω μεταβλητών - υποκριτηρίων:

- **Κόστος εγκατάστασης:** Είναι το απαιτούμενο αρχικό κεφάλαιο για την κατασκευή της κάθε εναλλακτικής. Η μέτρηση αυτής της διάστασης περιγράφεται σε € ανά εγκατεστημένο MW. Όπως είναι λογικό, προτιμότερη είναι η εναλλακτική με το μικρότερο κόστος εγκατάστασης.
- **Κόστος λειτουργίας και συντήρησης:** Είναι το πάγιο οικονομικό κόστος για τις απαιτήσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και συντήρησης του κάθε έργου. Ομοίως οι τιμές αυτής της διάστασης είναι σε € ανά εγκατεστημένο MW. Και εδώ είναι προτιμότερο το μικρότερο δυνατό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- **Τιμή πώλησης ενέργειας:** Η μεταβλητή αυτή παρουσιάζει την ισχύουσα τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από κάθε μορφή Α.Π.Ε. Η μέτρησης της τιμής πώλησης είναι σε €/MWh. Μεγαλύτερη τιμή πώλησης για συγκεκριμένο ποσό παραγόμενης ενέργειας αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα για την εκάστοτε εναλλακτική.

Στο πίνακα 5.1 φαίνονται συγκεντρωτικά οι τιμές των μεταβλητών. Στο παράρτημα αναλύεται η μέθοδος και οι πηγές από τους πίνακες

Πίνακας 5.1 Οικονομικό κριτήριο (Ιδία επεξεργασία)

Εναλλακτική	Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/MW)	Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (χιλιάδες €/GWh )	Τιμή πώλησης ενέργειας (€/ MWh )
Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)	1,49	33	65.75
Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	3,32	58	84
Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)	0,8	8,3	65
Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	1,5	10	65
Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα	1,4	15	87
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία	3,15	95	104
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα	4,7	82	133

Αξίζει να σημειωθεί ότι πολλά έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας δεν μπορούν ανταγωνιστούν με αντίστοιχα συμβατικά ενεργειακά έργα από την άποψη του κόστους και μόνο. Ωστόσο, εάν το κόστος των ανταγωνιστικών τεχνολογιών αξιολογηθεί προσεκτικά και λαμβάνεται υπόψη και εξωτερικά κόστη τότε τα έργα ΑΠΕ είναι εφικτό να αξιολογηθούν και σε οικονομική βάση. Αλλά το πρόβλημα είναι η αξιολόγηση από τα εξωτερικά κόστη καθώς δεν είναι πάντα εύκολο να εκτιμηθεί. Ένας τρόπος για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα είναι να χρησιμοποιήσετε

προσέγγιση πολλαπλών κριτηρίων αντί για ένα μεμονωμένο οικονομικό κριτήριο. (Malik κ.α., 2021)

### Περιβαλλοντικά κριτήρια

Το κριτήριο αυτό αναφέρεται στον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που έχει η κάθε εναλλακτική κατά την κατασκευή και λειτουργία της, για την σύνθεση των παρακάτω διαστάσεων για την αξιολόγηση των οποίων χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5.

- **Επίδραση στο έδαφος:** Είναι η διάσταση που αναφέρεται στις επιδράσεις που δέχεται το έδαφος πάνω στο οποίο εγκαθίσταται κάθε έργο, τόσο κατά την εγκατάσταση, όσο και κατά τη λειτουργία του.
- **Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες:** Η διάσταση αυτή προσδιορίζει την επίδραση των υδάτινων αποδεκτών του γύρω περιβάλλοντος το οποίο φιλοξενεί κάθε έργο.
- **Ηχορύπανση:** Η διάσταση αυτή περιγράφει την ηχητική ρύπανση που πιθανόν να προκαλεί το εκάστοτε έργο σε όλες της φάσης του (μελέτη, κατασκευή, λειτουργία και συντήρηση).
- **Αλλοίωση τοπίου:** Η διάσταση αυτή αναφέρεται στην πιθανή (και ποικίλης κλίμακας) αλλοίωση τοπίου που προκαλεί το εκάστοτε έργο Α.Π.Ε στην περιοχή εγκατάστασης του.
- **Απαιτούμενη έκταση:** Το κριτήριο αυτό προσδιορίζει την έκταση που απαιτείται για την χωροταξική υποστήριξη του εκάστοτε έργου. Στο παρακάτω πίνακα φαίνεται η παραγωγή σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο για την κάθε εναλλακτική. Όσο μικρότερο χώρο δεσμεύει η κάθε εγκατάσταση, τόσο μικρότερο είναι το όποιο χωροταξικό αντίκτυπο επιβάλλει αυτή.

Πίνακας 5.2 Περιβαλλοντικό κριτήριο (Ιδία επεξεργασία)

Εναλλακτική	Επίδραση στο έδαφος	Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες	Ηχορύπανση	Αλλοίωση τοπίου	Απαιτούμενη έκταση
Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)	1	1	4	5	5
Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	1	1	4	5	5
Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)	3	1	1	2	4
Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	3	1	1	2	4
Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα	5	4	1	3	3
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία	3	4	3	4	3
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα	2	4	5	4	3



## Τεχνικά κριτήρια

Είναι το κριτήριο που αναφέρεται στην αποτελεσματική λειτουργία της εκάστοτε εναλλακτικής για τα δεδομένα της Ελλάδας σε συνδυασμό με τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε μορφής Α.Π.Ε. Προκύπτει από το συνδυασμό των παρακάτω μεταβλητών:

- **Αποδοτικότητα:** Ως αποδοτικότητα μιας μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ορίζεται ο λόγος μεταξύ της παραγόμενης ωφέλιμης ηλεκτρικής ενέργειας από τη μονάδα παραγωγής, σε μια συγκεκριμένη χρονική μονάδα, προς τη θεωρητική ενεργειακή αξία της ενεργειακής πηγής που παρέχεται στη μονάδα, το ίδιο χρονικό διάστημα. Η διάσταση αυτή παρουσιάζει με μαθηματική ακρίβεια την αποδοτικότητα της εκάστοτε Α.Π.Ε. Η μέτρηση της είναι σε (%) ποσοστό. Όσο μεγαλύτερο το ποσοστό της κάθε εναλλακτικής τόσο αποδοτικότερη χαρακτηρίζεται.
- **Αξιοπιστία:** Η διάσταση αυτή αντικατοπτρίζει την αξιοπιστία που παρουσιάζει η εκάστοτε Α.Π.Ε και αναφέρεται κυρίως στο μέγεθος εξάρτησης αυτών από εξωτερικές συνθήκες (Κλιματολογικές). Για τη περιγραφή και αυτής της διάστασης χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5 όπου μεγαλύτερη τιμή υποδηλώνει μεγαλύτερη αξιοπιστία και ανεξαρτησία ως προς τους εξωτερικούς παράγοντες.
- **Διάρκεια ζωής:** Η ωφέλιμη ζωή της τεχνολογίας εκτιμήθηκε απο αναζήτηση βιβλιογραφίας. Βρέθηκαν περιορισμένες πληροφορίες για πραγματικές μελέτες διάρκειας ζωής. Το μεγαλύτερο μέρος της βιβλιογραφίας που αναφέρεται περιελάμβανε μια υποτιθέμενη χρήσιμη ζωή για μια δεδομένη τεχνολογία. Αυτοί οι αριθμοί είναι χρήσιμοι δεδομένου ότι παρέχουν συμβατική σκέψη εμπειρογνομώνων σε κάθε τομέα.

Πίνακας 5.3  
Τεχνικό  
κριτήριο (Ιδία  
επεξεργασία)

Εναλλακτική	Αποδοτικότητα	Αξιοπιστία	Διάρκεια ζωής
Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)	<b>60</b>	<b>1</b>	<b>20</b>
Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	<b>35</b>	<b>1</b>	<b>20</b>
Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>25-40</b>
Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>25-40</b>
Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα	<b>90</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα	<b>40</b>	<b>5</b>	<b>20-30</b>

### Κοινωνικά κριτήρια

Είναι το κριτήριο που αναφέρεται στην υποστήριξη που δέχεται από τους κατοίκους της τοπικής κοινωνίας η εκάστοτε εναλλακτική. Προκύπτει από τη σύνθεση των εξής τριών μεταβλητών:

- **Θέσεις εργασίας:** Οι θέσεις εργασίας που δημιουργεί η εκάστοτε επένδυση. Ένα επενδυτικό έργο που δημιουργεί πολλές θέσεις εργασίας (έμμεσες και άμεσες) χαίρει εκτίμησης και θετικής αντιμετώπισης από τις τοπικές αρχές, αλλά και από την ίδια τη τοπική κοινωνία των πολιτών. Η μέτρηση των θέσεων εργασίας έγινε σε εργατοέτη ανά εγκατεστημένο MW. Περισσότερα εργατοέτη συνεπάγονται δημιουργία περισσότερων θέσεων εργασίας.
- **Κοινωνική αποδοχή:** Είναι η διάσταση που αντικατοπτρίζει την αποδοχή, την ενημέρωση και τη τελική στάση των τοπικών κοινωνιών στην Ελλάδα απέναντι στην εγκατάσταση και λειτουργία της εκάστοτε Α.Π.Ε στην περιοχή τους. Για τη μέτρηση της κοινωνικής αποδοχής χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5 όπου μεγαλύτερη τιμή στη κλίμακα υποδηλώνει περισσότερη γνώση και θετικότερη εκτίμηση σε έρευνες που έχουν διεξαχθεί της κάθε εναλλακτικής από τους κατοίκους.
- **Προσθετά κοινωνικά οφέλη:** Είναι η διάσταση που αναφέρεται σε επιπλέον οφέλη που προσκομίζουν οι τοπικές κοινωνίες (ποιοτικά ή ποσοτικά) και τα οποία δεν παρουσιάζουν όλες οι εναλλακτικές. Για τη μέτρηση αυτής της διάστασης χρησιμοποιήθηκε κλίμακα 1 έως 5 όπου μεγαλύτερη τιμή σημαίνει περισσότερα πρόσθετα οφέλη.

Εναλλακτική	Θέσεις εργασίας	Κοινωνική αποδοχή	Προσθετά κοινωνικά οφέλη
Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)	<b>7,5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	<b>7,5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)	<b>45</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	<b>45</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία	<b>56</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Πίνακας 5.4 Κοινωνικό κριτήριο (Ιδία επεξεργασία)

## 5.4 Εισαγωγή βαρών και επεξεργασία δεδομένων σε περιβάλλον Promethee

Ο γενικός στόχος όλων των Πολυκριτηριακών μεθόδων είναι να εμπλουτίσουν το γράφημα κυριαρχίας στην ουσία να μειώσουν τον αριθμό των αδυναμιών σύγκρισης. Η μεθοδολογία αυτή δεν είναι πάντα η πιο ορθή καθώς βασίζεται σε αρκετά ισχυρές παραδοχές και παραλλάζει τη δομή του αρχικού ζητήματος. Οι μέθοδοι που ανήκουν στην οικογένεια PROMETHEE θεωρούνται σχετικά απλές μέθοδοι Πολυκριτηριακής Ανάλυσης και ανήκουν στις μεθόδους Υπεροχής. Η PROMETHEE ακολουθεί μια διαφανή υπολογιστική διαδικασία και μπορεί εύκολα να γίνει κατανοητή από τον αποφασίζοντα.

Γενικά η εφαρμογή της PROMETHEE είναι χρήσιμη σε σύνθετα προβλήματα για την επιλογή ανάμεσα σε εναλλακτικές λύσεις, εκεί όπου εμπλέκονται πολλαπλά κριτήρια απόφασης, για τον καθορισμό προτεραιοτήτων, για την κατάταξη των εναλλακτικών και για την επίλυση συγκρούσεων (αν υπάρχουν ασυμβίβαστοι στόχοι). Οι μέθοδοι PROMETHEE απαιτούν τον καθορισμό μιας ορισμένης συνάρτησης προτίμησης για κάθε κριτήριο. Υπολογίζουν θετικές ροές προτίμησης οι οποίες εκφράζουν κατά πόσο μία εναλλακτική είναι η κυρίαρχη ως προς τις άλλες και αρνητικές ροές προτίμησης οι οποίες εκφράζουν κατά πόσο κυριαρχείται μία εναλλακτική από τις άλλες.

Η μέθοδος PROMETHEE, η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία ανήκει στην οικογένεια των μεθόδων σχέσεων υπεροχής. Το πρώτο στάδιο της ανάπτυξης της σχέσης υπεροχής ξεκινάει με τον προσδιορισμό του δείκτη προτίμησης (preference index)  $\pi(x_i, x_j)$  για κάθε ζεύγος εναλλακτικών δραστηριοτήτων  $x_i$  και  $x_j$ , που ορίζεται ως:

$$\pi(x_i, x_j) = \sum_{k=1}^n w_k p_k(x_i, x_j) \quad (3.1)$$

$$p_k(x_i, x_j) = \begin{cases} 0, & x_{ik} < x_{jk} \\ H_k(x_{ik} - x_{jk}), & x_{ik} \geq x_{jk} \end{cases} \quad (3.2)$$

Ο μερικός δείκτης προτίμησης  $pk(x_i, x_j)$  για το κριτήριο  $x_k$  ορίζεται σε συνάρτηση της διαφοράς  $x_{ik}-x_{jk}$  μεταξύ των επιδόσεων δύο εναλλακτικών λύσεων στο κριτήριο  $x_k$ . Η επίλυση του πολυκριτηριακού προβλήματος με τη μέθοδο PROMETHEE ακολουθεί τα εξής διαδοχικά στάδια:

1. Δυναμική σύγκριση εναλλακτικών ανά κριτήριο
2. Υπολογισμός συνολικών δεικτών προτίμησης
3. Υπολογισμός θετικών και αρνητικών ροών
4. Κατάταξη των επιλογών

Η μέθοδος PROMETHEE χρησιμοποιεί για τη δυναμική σύγκριση των επιλογών, στην περίπτωση μας η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε είναι το Κανονικό/σύνηθες κριτήριο (Usual) όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Όπου δεν περιλαμβάνει κατώφλια και υποθέτει απότομη μετάβαση από την κατάσταση αδιαφορίας στην κατάσταση προτίμησης.

Σκοπός της πολυκριτηριακής ανάλυσης είναι να επιλεχθεί το καταλληλότερο έργο ΑΠΕ ανάλογα με διάφορες παραμέτρους που το χαρακτηρίζουν. Οι εναλλακτικές που αναλύονται όπως αναφέρθηκαν και αναλύθηκαν παραπάνω είναι επτά και τα κριτήρια στο σύνολο είναι 14 τα οποία είναι κατηγοριοποιημένα σε 4 κατηγορίες. Το πρόβλημα διαμορφώθηκε και με ομοιόμορφα κατανεμημένα βάρη κριτηρίων και με άνισα βάρη κριτηρίων και έγιναν συγκρίσεις μεταξύ των δύο προσεγγίσεων.

Τα βάρη των κριτηρίων επιλέχθηκαν τόσο με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση όσο και με προσωπική εκτίμηση. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας με τα ανάλογα βάρη του κάθε κριτηρίου και τα τελικά βάρη όπως διαμορφώθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στο Promethee για την αξιολόγηση των εναλλακτικών έργων ΑΠΕ. (Πίνακας 5.5)

Πίνακας 5.5 Πίνακας με Βάρη κριτηρίων (Ιδία επεξεργασία)

Κριτήριο	Βάρη	Υπο-κριτήριο	Βάρη	Τελικά Βάρη
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0.25	Κόστος εγκατάστασης	0.46	0.116
		Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	0.35	0.088
		Τιμή πώλησης ενέργειας	0.18	0.047
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0.3	Επίδραση στο έδαφος	0.17	0.051
		Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες	0.21	0.063
		Ηχορύπανση	0.23	0.069
		Αλλοίωση τοπίου	0.2	0.06
		Απαιτούμενη έκταση	0.19	0.057
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	0.185	Αποδοτικότητα	0.4	0.074
		Αξιοπιστία	0.35	0.065
		Διάρκεια ζωής	0.25	0.046
ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	0.265	Θέσεις εργασίας	0.32	0.085
		Κοινωνική αποδοχή	0.33	0.087
		Πρόσθετα κοινωνικά οφέλη	0.35	0.093

Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας σε περιβάλλον Promethee όπως διαμορφώθηκε με τα βάρη για κάθε κριτήριο. (Πίνακας 5.6)

Πίνακας 5.6: Πίνακας PROMETHEE με βάρη κριτηρίων (Ιδία επεξεργασία)

Έργο ΑΠΕ	Κόστος Επέν...	Κόστος Λετο...	Τιμή πώληση...	Επιδραση στ...	Επιδραση στ...	Ηχορύπανση	Αλλοίωση το...	Απαιτούμενη...	Αποδοτικότητα...	Αξιοπιστία	Διάρκεια ζωής	Θέσεις εργα...	Κοινωνική α...	Προσθετά κο...
Unit	εκατο.€/MWh	χλ/ΓWh	€/MWh	5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	%	5-point	έτη	unit	5-point	5-point
Cluster/Group														
<b>Preferences</b>														
Min/Max	min	min	max	min	min	min	min	min	max	max	max	max	min	max
Weight	0.12	0.09	0.05	0.05	0.06	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.05	0.08	0.09	0.09
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Statistics</b>														
Minimum	€ 0.80	€ 8.3	€ 65.0	1	1	1	2	3	15	1	20	8	3	1
Maximum	€ 4.70	€ 95.0	€ 133.0	5	4	4	5	5	90	5	32	56	5	4
Average	€ 2.34	€ 43.0	€ 86.3	3	2	3	4	4	39	3	24	34	4	3
Standard Dev.	€ 1.30	€ 33.0	€ 23.4	1	1	1	1	1	26	2	5	18	1	1
<b>Evaluations</b>														
Αιολικ Διασ.		€ 1.49	€ 33.0	€ 65.8	1	1	4	5	5	60	1	20	8	5
Αιολικό Μη Διασ.		€ 3.32	€ 58.0	€ 84.0	1	1	4	5	5	35	1	20	8	4
Φωτοβολταϊκός ...		€ 0.80	€ 8.3	€ 65.0	3	1	1	2	4	15	3	32	45	1
Φωτοβολταϊκός ...		€ 1.50	€ 10.0	€ 65.0	3	1	1	2	4	15	3	32	45	4
Υδροηλεκτρικός		€ 1.40	€ 15.0	€ 87.0	5	4	2	3	3	90	5	20	27	4
Γεωθερμία		€ 3.15	€ 95.0	€ 104.0	3	4	3	4	3	15	5	20	56	2
Βιομάζα		€ 4.70	€ 82.0	€ 133.0	2	4	4	4	3	40	5	25	48	3



Επίσης στο PROMETHEE έγινε εισαγωγή και του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.7) ο οποίος έχει ίσα βάρη σε όλα τα κριτήρια για να γίνει η σύγκριση παρακάτω για το πώς τα βάρη διαφοροποιούν το αποτέλεσμα.

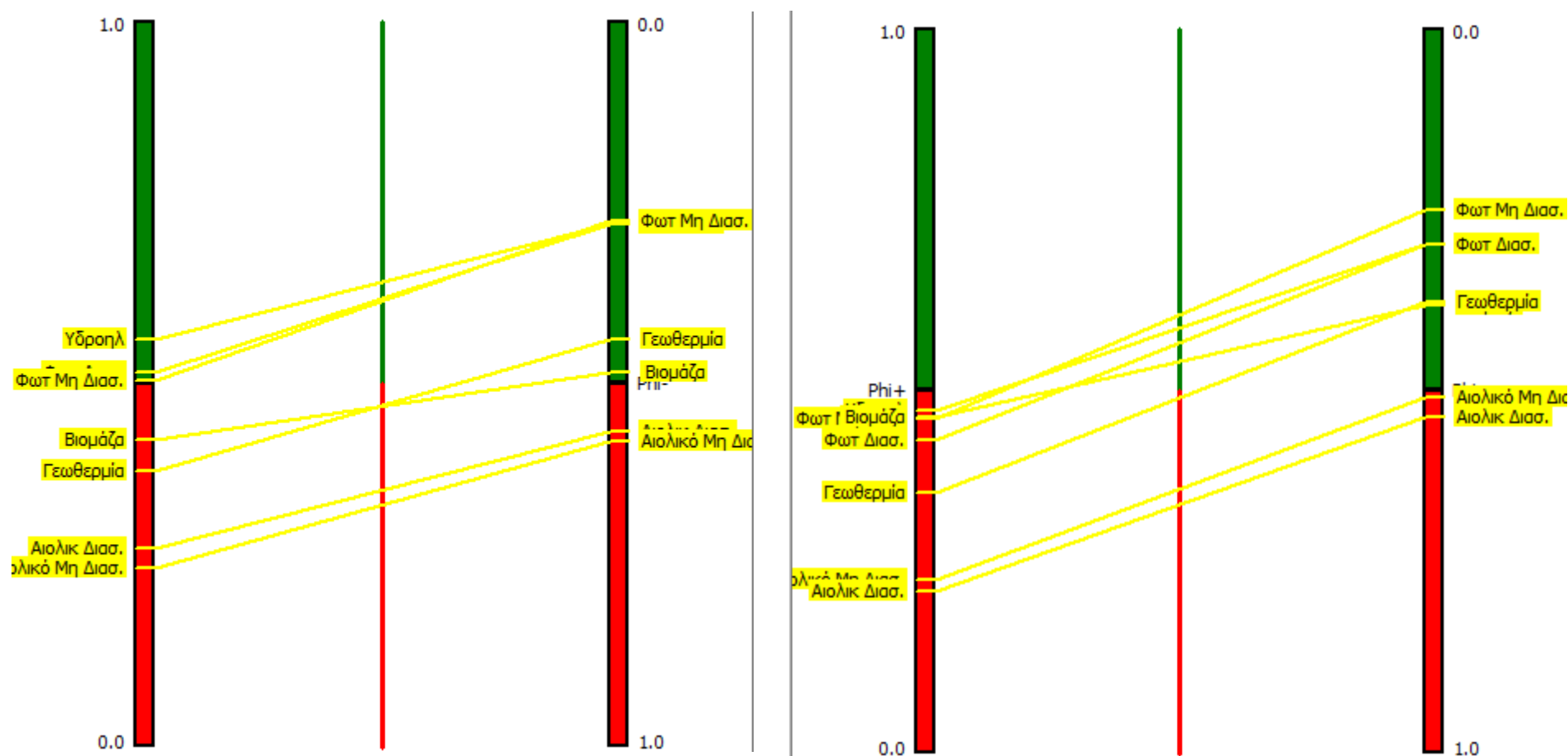
Πίνακας 5.7: Πίνακας PROMETHEE με ίσα βάρη κριτηρίων (Ιδία επεξεργασία)

Bertrand	Κόστος Ενέν...	Κόστος Λατο...	Τιμή πώληση...	Επίδραση στ...	Επίδραση στ...	Ηχορύπανση	Αλλοίωση το...	Απαιτούμενη...	Αποδοτικότητα...	Αξιοπιστία	Διάρκεια ζωής	Θέσεις εργα...	Κοινωνική α...	Προσθετά κο...	
Unit	εκατο. €/MWh	χιλ/GWh	€/MWh	5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	%	5-point	έτη	unit	5-point	5-point	
Cluster/Group															
Preferences															
Min/Max	min	min	max	min	min	min	min	min	max	max	max	max	min	max	
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics															
Minimum	€ 0,80	€ 8,3	€ 65,0	1	1	1	2	3	15	1	20	8	3	1	
Maximum	€ 4,70	€ 95,0	€ 133,0	5	4	4	5	5	90	5	32	56	5	4	
Average	€ 2,34	€ 43,0	€ 86,3	3	2	3	4	4	39	3	24	34	4	3	
Standard Dev.	€ 1,30	€ 33,0	€ 23,4	1	1	1	1	1	26	2	5	18	1	1	
Evaluations															
Αιολικ Διασ.		€ 1,49	€ 33,0	€ 65,8	1	1	4	5	5	60	1	20	8	5	1
Αιολικό Μη Διασ.		€ 3,32	€ 58,0	€ 84,0	1	1	4	5	5	35	1	20	8	5	4
Φωτοβολταϊκός ...		€ 0,80	€ 8,3	€ 65,0	3	1	1	2	4	15	3	32	45	3	1
Φωτοβολταϊκός ...		€ 1,50	€ 10,0	€ 65,0	3	1	1	2	4	15	3	32	45	3	4
Υδροηλεκτρικός		€ 1,40	€ 15,0	€ 87,0	5	4	2	3	3	90	5	20	27	3	4
Γεωθερμία		€ 3,15	€ 95,0	€ 104,0	3	4	3	4	3	15	5	20	56	3	2
Βιομάζα		€ 4,70	€ 82,0	€ 133,0	2	4	4	4	3	40	5	25	48	4	3

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που έδωσε το PROMETHEE και θα γίνει σύγκριση των δυο διαφορετικών περιπτώσεων (με βάρη και χωρίς).

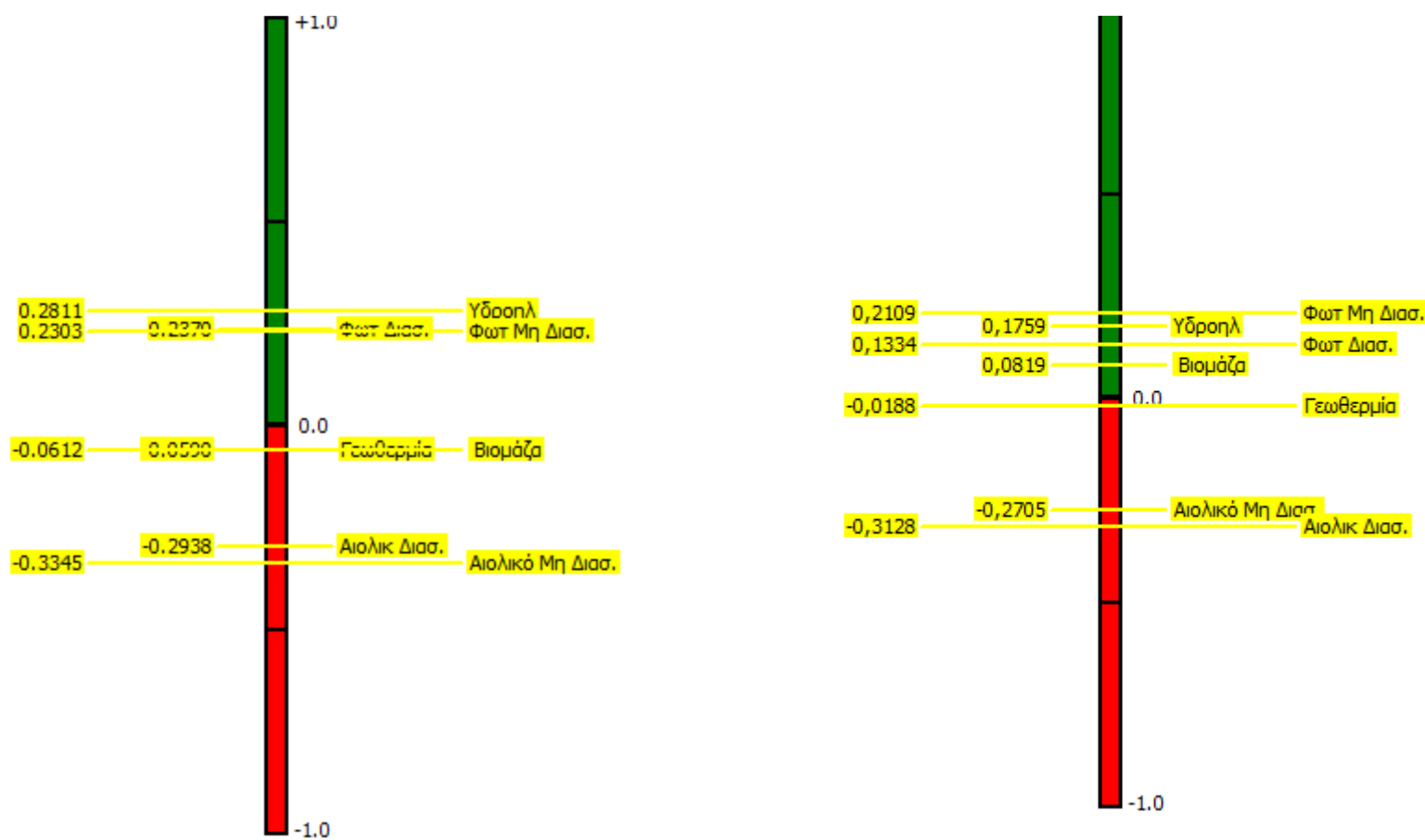
### PROMETHEE Rankings:

Διάγραμμα 5.1 Μερική κατάταξη (PROMETHEE I) με βάρη κριτηρίων (αριστερά) και για ίσα βάρη (δεξιά) (Ιδία επεξεργασία)



Για τα διαφορετικά βάρη (Διάγραμμα 5.4.1) δεν είναι ξεκάθαρο ποια εναλλακτική προηγείται, ενώ στην ανάλυση με ίσα βάρη το αποτέλεσμα είναι πιο ξεκάθαρο καθώς προηγούνται οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί σε μη διασυνδεδεμένο δίκτυο.

Διάγραμμα 5.2 Ολική κατάταξη (PROMETHEE II) ) με βάρη κριτηρίων (αριστερά) και για ίσα βάρη (δεξιά). (Ιδια επεξεργασία)

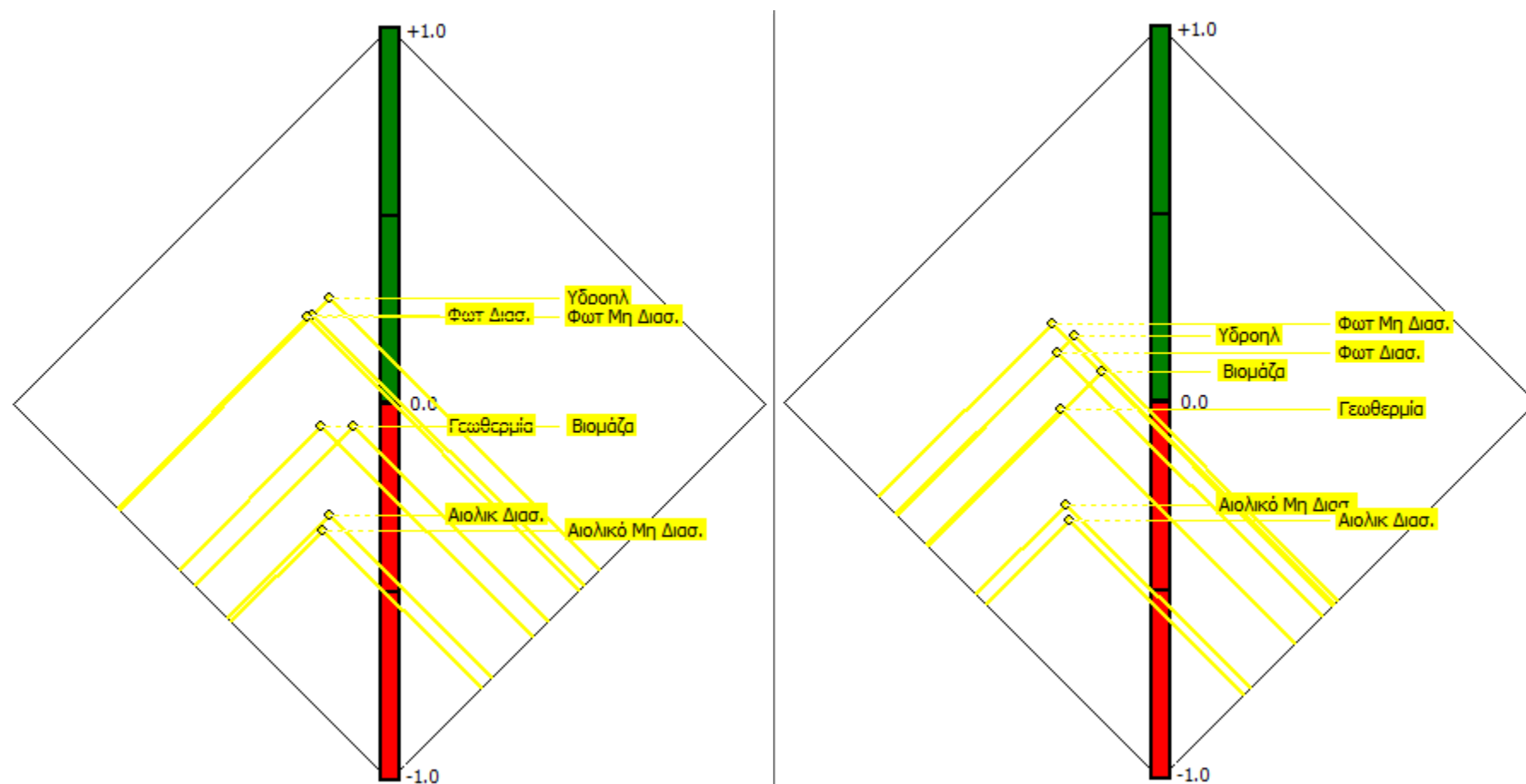


Τα ίδια αποτελέσματα επιβεβαιώνει και παρουσιάζει πιο ξεκάθαρα και η ολική κατάταξη (Διάγραμμα 5.2). Η διαφορά ανάμεσα στην μερική κατάταξη (PROMETHEE I) και στην ολική κατάταξη (PROMETHEE II) είναι ότι στη μερική κατάταξη οι δύο κάθετοι άξονες (με τιμές από 0 έως 1) απεικονίζουν τη θετική ροή (αριστερός άξονας) που αυξάνεται από κάτω προς τα πάνω και την αρνητική ροή (δεξιός άξονας) που αυξάνεται από πάνω προς τα κάτω. Στο λογισμικό η θετική ροή συμβολίζεται  $\Phi_i^+$  και η αρνητική  $\Phi_i^-$ . Ο άξονας που βρίσκεται μεταξύ των δύο αξόνων παρουσιάζει την καθαρή ροή  $\Phi_i$ . Όσο μεγαλύτερη είναι η θετική ροή τόσο μεγαλύτερη η υπεροχή μιας εναλλακτικής επιλογής και όσο μικρότερη είναι η αρνητική ροή τόσο μικρότερη είναι και η υστέρησή της έναντι των άλλων επιλογών. Επομένως είναι επιθυμητή η μεγάλη θετική ροή και η μικρή αρνητική ροή. Από την άλλη μεριά στην ολική κατάταξη υπάρχει ένας μόνο άξονας που δηλώνει την καθαρή ροή με τιμές από -1 (κάτω όριο) έως 1 (πάνω όριο). Η καθαρή ροή  $\Phi_i$  υπολογίζεται ουσιαστικά από τη σχέση:  $\Phi_i = (\Phi_i^+) - (\Phi_i^-)$ , με  $-1 < \Phi_i < 1$ .

Στο παραπάνω διάγραμμα με τα βάρη είναι πιο εμφανές ότι προηγούνται οι Υδροηλεκτρικοί σταθμοί και ακολουθούν οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί σε και μη διασυνδεδεμένο δίκτυο αντίστοιχα. Στη συνέχεια με πολύ μικρή διαφορά βρίσκονται οι σταθμοί παραγωγής ενέργειας από Γεωθερμία και Βιομάζα και στο τέλος τα Αιολικά πάρκα. Επίσης στο διάγραμμα με τα ίδια βάρη οι εναλλακτικές ακολουθούν διαφορετική κατάταξη καθώς στο πάνω όριο είναι ενταγμένοι και οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Βιομάζα.

## PROMETHEE Diamond








Διάγραμμα 5.3 PROMETHEE Diamond με βάρη κριτηρίων (αριστερά) και για ίσα βάρη (δεξιά). (Ιδία επεξεργασία)










Στην ανάλυση PROMETHEE Diamond παρουσιάζεται ένα τετράγωνο με κλίση 45ο . Η κάθετη διάσταση δίνει την καθαρή ροή (Phi). Η τιμή της θετικής ροής (Phi+) αυξάνει από αριστερά στην πάνω γωνία αντίθετα η τιμή της αρνητικής ροής (Phi-) αυξάνει από αριστερά στην κάτω γωνία. Στην παρούσα ανάλυση απεικονίζεται εύκολα η εγγύτητα των τιμών των θετικών και αρνητικών ροών των εναλλακτικών.

## PROMETHEE Table

Πίνακας 5.8 PROMETHEE Table με βάρη κριτηρίων (πάνω) και για ίσα βάρη (κάτω). (Ιδία επεξεργασία)

Rank	Car		Phi	Phi+	Phi-
1	Υδρογλ		0.2811	0.5610	0.2798
2	Φωτ Δισ.		0.2370	0.5165	0.2796
3	Φωτ Μη Δισ.		0.2303	0.5055	0.2752
4	Γεωθερμία		-0.0590	0.3804	0.4393
5	Βιομάζα		-0.0612	0.4220	0.4832
6	Αιολικ Δισ.		-0.2938	0.2728	0.5665
7	Αιολικό Μη Δισ.		-0.3345	0.2447	0.5792

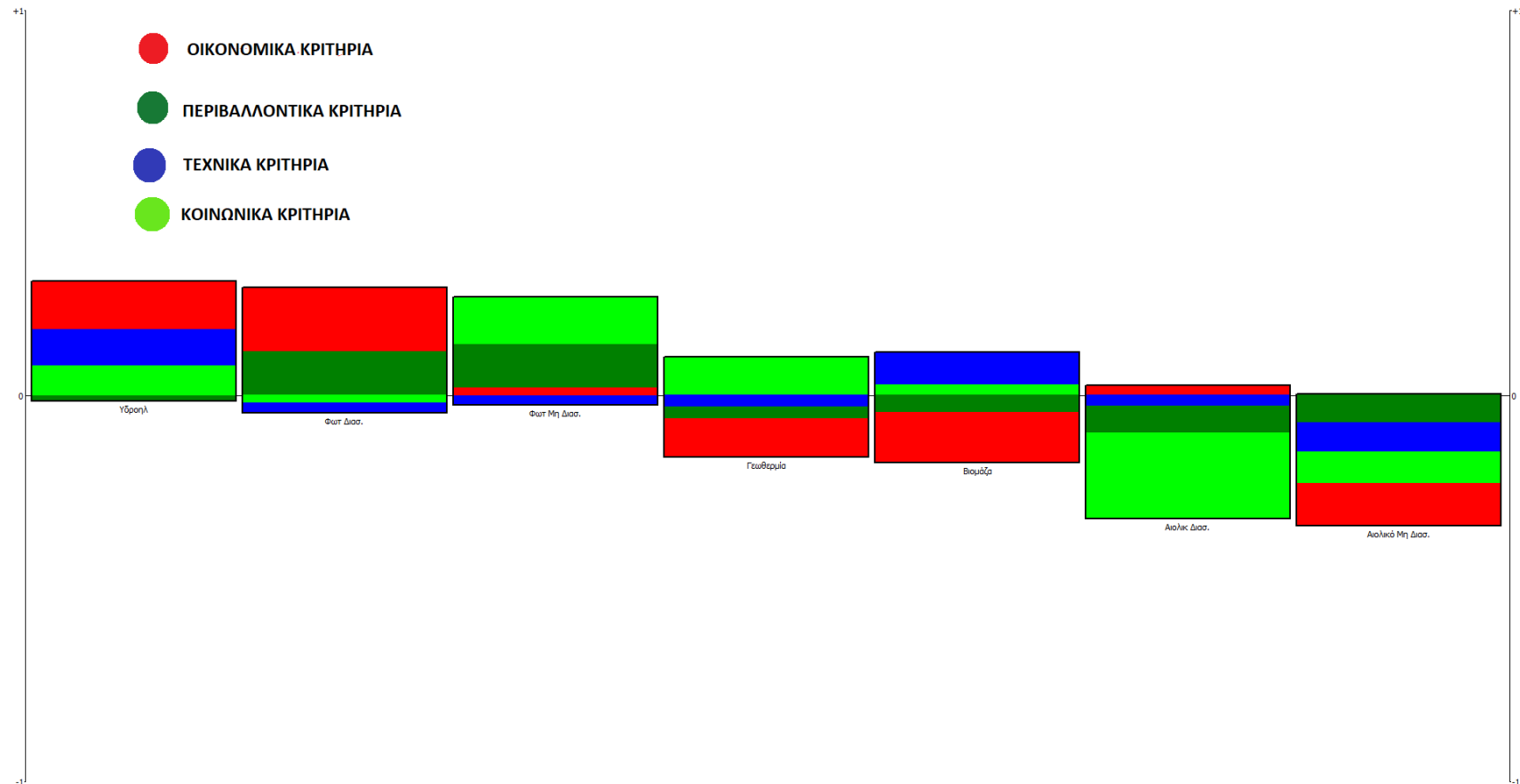
Rank	Car		Phi	Phi+	Phi-
1	Φωτ Μη Δισ.		0,2109	0,4612	0,2503
2	Υδρογλ		0,1759	0,4738	0,2979
3	Φωτ Δισ.		0,1334	0,4310	0,2976
4	Βιομάζα		0,0819	0,4643	0,3824
5	Γεωθερμία		-0,0188	0,3586	0,3774
6	Αιολικό Μη Δισ.		-0,2705	0,2393	0,5098
7	Αιολικ Δισ.		-0,3128	0,2232	0,5360

Αυτό το εργαλείο ανάλυσης παρουσιάζει σε πίνακα (Πίνακας 5.8) τη σειρά κατάταξης των εναλλακτικών δράσεων και για κάθε εναλλακτική δράση δείχνει τη θετική, την αρνητική και την καθαρή ροή. (Phi+, Phi-, Phi). Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης έχει στη διάθεσή του ένα πίνακα που τον διευκολύνει να κάνει αριθμητικές συγκρίσεις.

## PROMETHEE Rainbow

Η συγκεκριμένη ανάλυση προσφέρει μία πλήρη απεικόνιση της ολικής κατάταξης με την μέθοδο PROMETHEE II. Οι δράσεις απεικονίζονται κατά σειρά κατάταξης από αριστερά προς τα δεξιά. Για την κάθε δράση παρουσιάζεται σε στοίβα η επιρροή του κάθε κριτηρίου στην καθαρή ροή της.

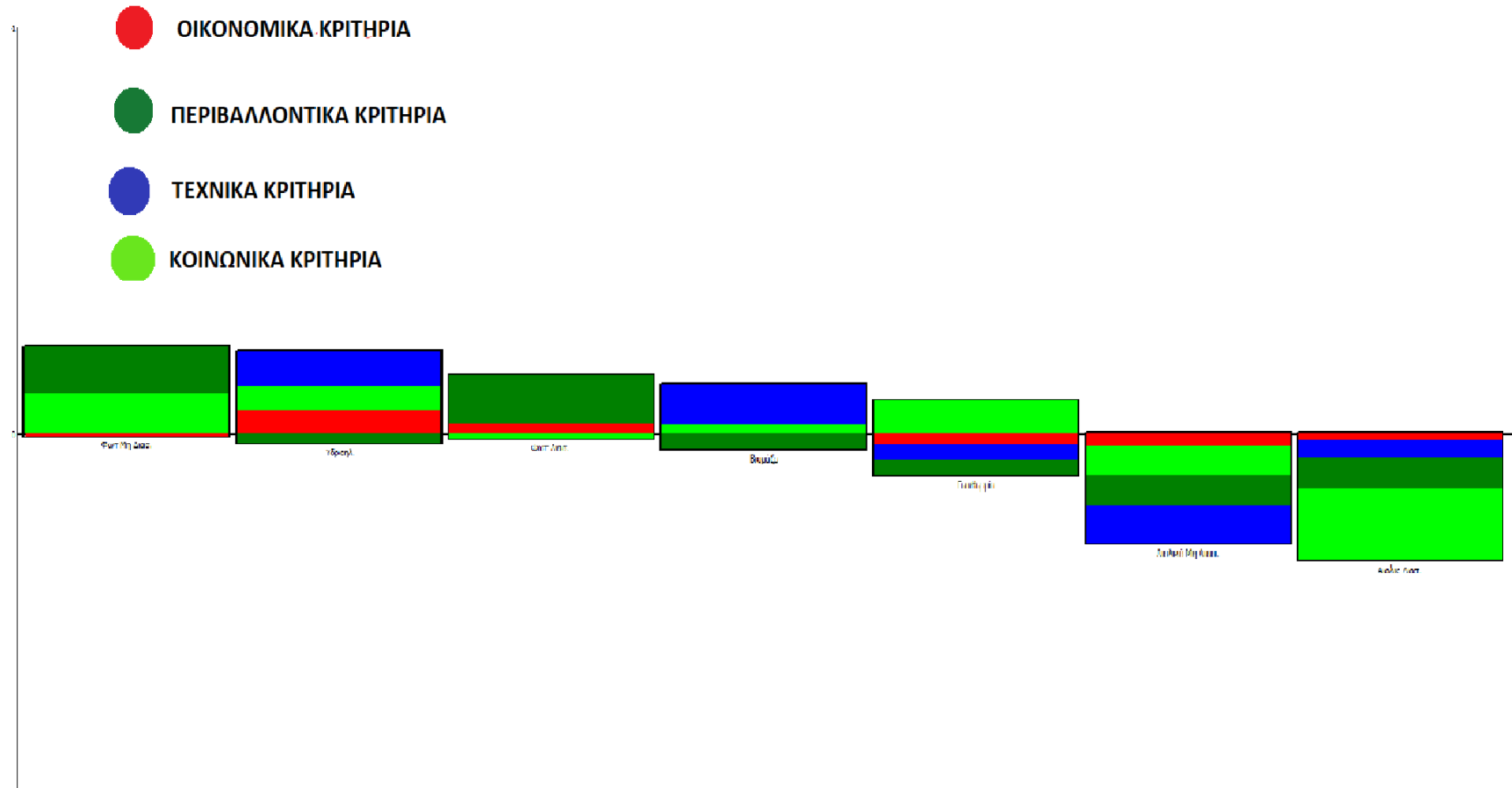
Διάγραμμα 5.4 PROMETHEE Rainbow με βάρη κριτηρίων. (Ιδία επεξεργασία)



Στο διάγραμμα 5.4 είναι κατανοητό ότι τη μεγαλύτερη καθαρή ροή έχουν οι Υδροηλεκτρικοί Σταθμοί εφόσον τα περισσότερα κρίσιμα κριτήρια για τη συγκεκριμένη εναλλακτική βρίσκονται πάνω από τον οριζόντιο άξονα εκτός από τα περιβαλλοντικά κριτήρια που φαίνεται όμως ότι επηρεάζει ελάχιστα. Επιπλέον παρατηρούμε ότι οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί σε διασυνδεδεμένο δίκτυο έχουν μεγάλη ροή όσον αφορά το οικονομικό και το περιβαλλοντικό κριτήριο όμως φαίνεται ότι υστερεί στα τεχνικά και κοινωνικά κριτήρια και δεν παίζουν ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην πρόκριση της συγκεκριμένης εναλλακτικής. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα Αιολικά πάρκα που βρίσκονται στις τελευταίες θέσεις παρουσιάζουν αρνητική ροή σχεδόν σε όλα τα κριτήρια. Οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί σε μη διασυνδεδεμένο δίκτυο σε αντίθεση με τους αντίστοιχους σε διασυνδεδεμένο δίκτυο υστερούν στα οικονομικά κριτήρια ενώ υπερτερούν στα κοινωνικά κριτήρια. Στους σταθμούς Γεωθερμίας παρατηρούνται να έχουν θετική ροή μόνο τα κοινωνικά κριτήρια ενώ στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Βιομάζα τα κοινωνικά κριτήρια έχουν θετική ροή όμως με μικρή επιρροή, στην συγκεκριμένη εναλλακτική σημαντικό ρόλο φαίνεται να έχουν τα Τεχνικά κριτήρια.



Διάγραμμα 5.5 PROMETHEE Rainbow με ίσα βάρη κριτηρίων. (Ιδία επεξεργασία)

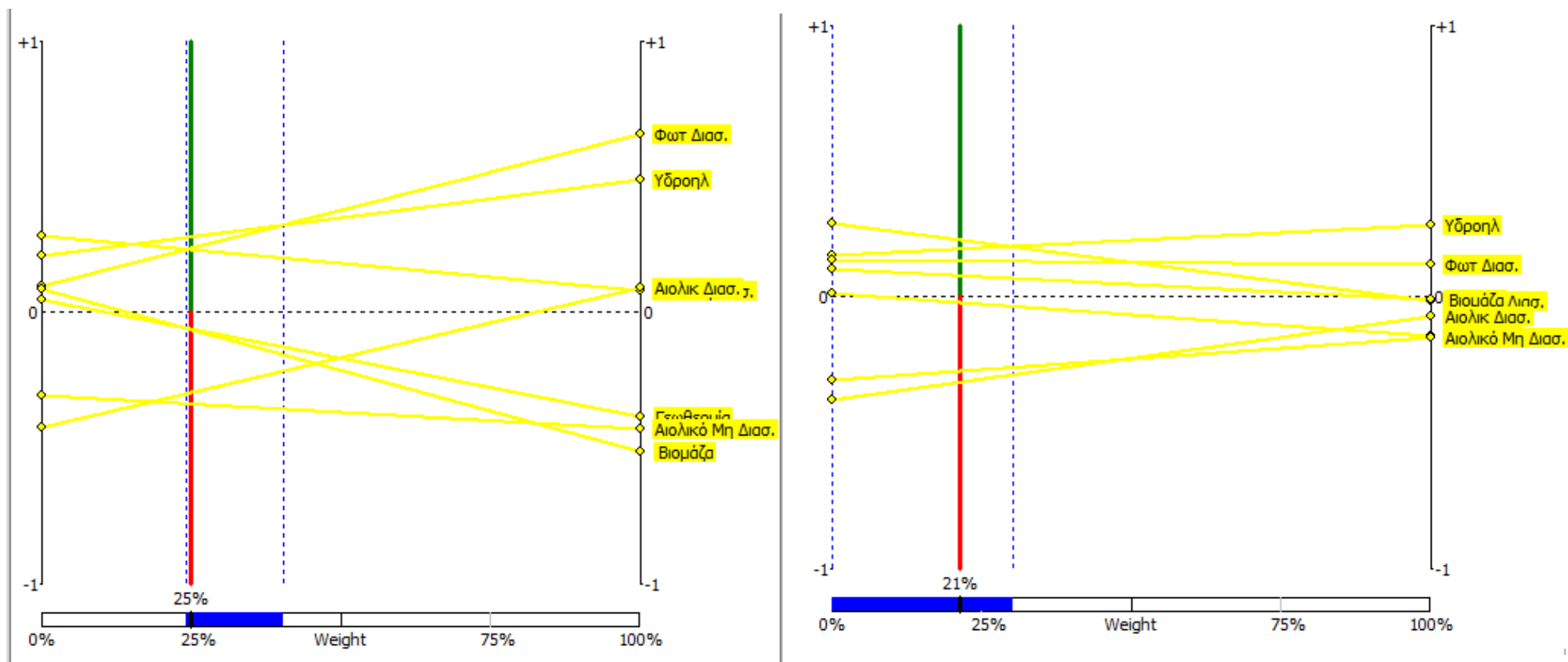


Σε αυτή την περίπτωση στις εναλλακτικές που προηγούνται βλέπουμε ότι τα κριτήρια που έχουν θετική ροή έχουν μεγάλη επιρροή σε σχέση με αυτά που έχουν αρνητική ροή. Επιπλέον τα Αιολικά πάρκα και σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζουν μόνο αρνητικές ροές.

Συγκρίνοντας πια τα δύο διαγράμματα (*Διάγραμμα 5.4 και Διάγραμμα 5.5*) μεταξύ τους πέραν ότι αλλάζει η σειρά προτίμησης των εναλλακτικών έργων, εύστοχη παρατήρηση είναι πως όλα τα κριτήρια που παίζουν μεγάλο ρόλο στις καθαρές ροές των εναλλακτικών στην περίπτωση με τα βάρη στην αντίστοιχη περίπτωση με τα ίσα βάρη επηρεάζουν ελάχιστα τις καθαρές ροές των εναλλακτικών. Άρα συμπεραίνουμε ότι στην περίπτωσή με τα βάρη το αποτέλεσμα κρίνεται πολύ διαφορετικά από την δεύτερη περίπτωση χωρίς τα βάρη καθώς βλέπουμε μια διαφορετική εικόνα των κριτηρίων, τα κριτήρια που φαίνονται να υπερτερούνε στην μια περίπτωση στην άλλη κάποιες φορές έχουν μικρή αξία και δεν συνεισφέρουν στην εναλλακτική. Μια τέτοια περίπτωση είναι το οικονομικό κριτήριο καθώς στο διάγραμμα με τα βάρη παρατηρείται να έχει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του αποτελέσματος, ενώ στο διάγραμμα με τα ίσα βάρη το οικονομικό κριτήριο παρατηρείται ελάχιστα έως και καθόλου.

### **Visual Stability Intervals**

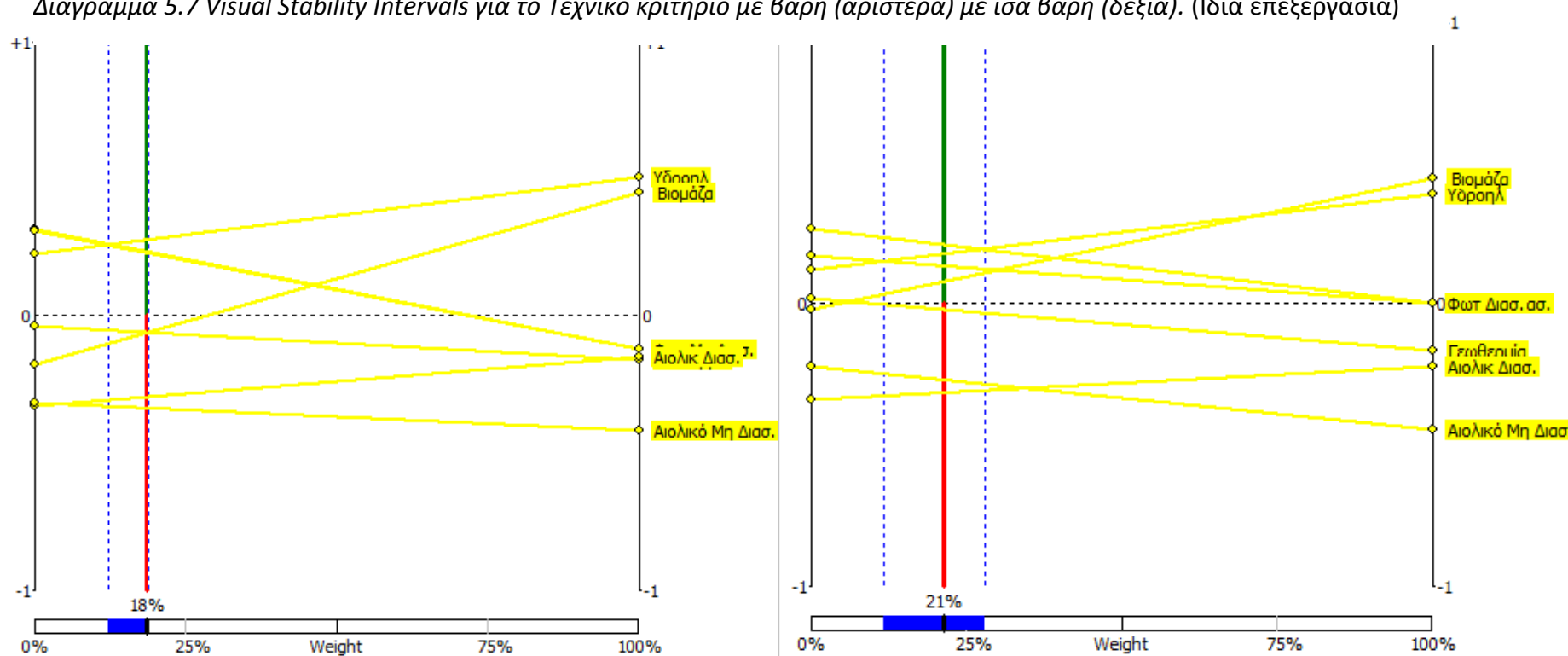
Ουσιαστικά, είναι μία ανάλυση ευαισθησίας η οποία παρουσιάζει κατά πόσο η κατάταξη η οποία ήδη διαμορφώθηκε επηρεάζεται από τα βάρη των κριτηρίων. Στον οριζόντιο άξονα απεικονίζονται τα ποσοστιαία βάρη των κριτηρίων ενώ στον κατακόρυφο εμφανίζεται η καθαρή ροή (Phi) της μεθόδου PROMETHEE II. Για κάθε εναλλακτικό έργο η γραμμή η οποία συνδέεται με το έργο υποδεικνύει το πόσο μεταβάλλεται η καθαρή ροή της σε κάθε μεταβολή του βάρους ενός συγκεκριμένου κριτηρίου. Η μπλε γραμμή που εμφανίζεται εκφράζει τις μεταβολές της καθαρής ροής για τις διάφορες τιμές βάρους του κριτηρίου αξιολόγησης.

Διάγραμμα 5.6 Visual Stability Intervals για το Οικονομικό κριτήριο με *βάρη* (αριστερά) με *ίσα βάρη* (δεξιά). (Ιδία επεξεργασία)

Το διάστημα σταθερότητας για το οικονομικό κριτήριο στην περίπτωση με τα βάρη καλύπτει από το 24,1% έως το 40,3%, ενώ στην περίπτωση με τα ίσα βάρη το διάστημα σταθερότητας καλύπτει έως το 30,1%, στοιχείο που μας δείχνει ότι στην πρώτη περίπτωση το οικονομικό κριτήριο παρουσιάζει μεγαλύτερη ευαισθησία απ' ότι στην δεύτερη. Επιπλέον στην περίπτωση με τα βάρη παρατηρούμε μεγαλύτερες διαφορές ανάμεσα στα εναλλακτικά έργα, ενώ στο διάγραμμα με τα ίσα βάρη οι εναλλακτικές παρουσιάζουν σχεδόν ομοιόμορφες διαφορές. Επίσης στη πρώτη περίπτωση φαίνεται πως η καθαρές ροές επηρεάζεται περισσότερο

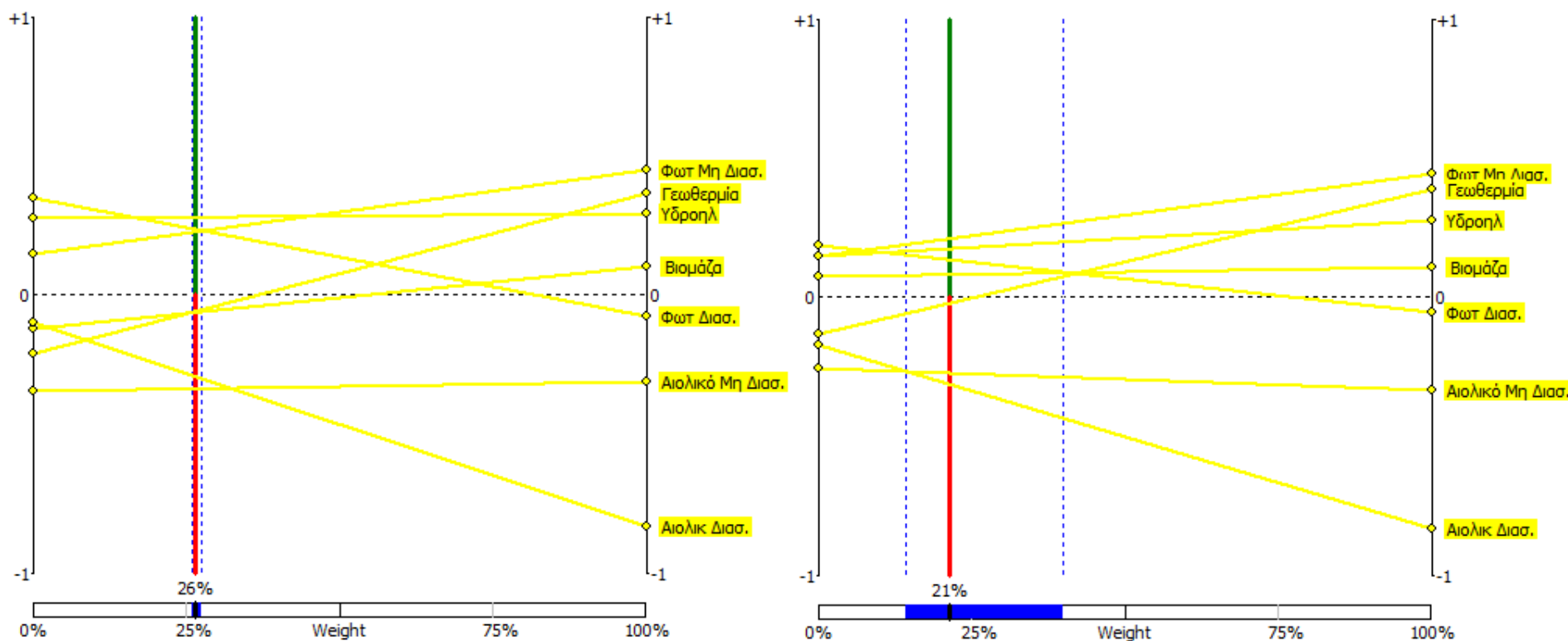
από μία αλλαγή στο βάρος του συγκεκριμένου κριτηρίου σε σχέση με την δεύτερη περίπτωση καθώς στην πρώτη περίπτωση οι κλίσεις των ευθειών είναι μεγαλύτερες.

Διάγραμμα 5.7 Visual Stability Intervals για το Τεχνικό κριτήριο με βάρη (αριστερά) με ίσα βάρη (δεξιά). (Ιδία επεξεργασία)



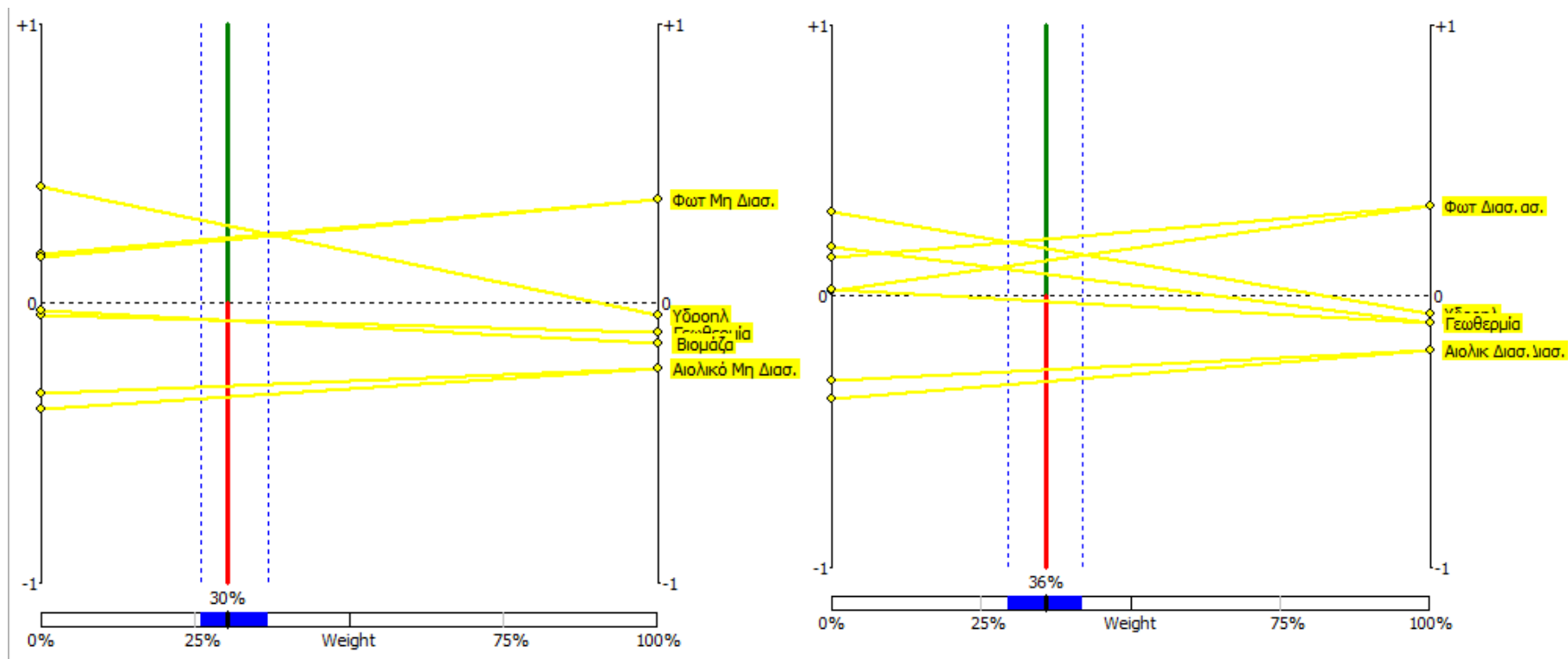
Στο πρώτο διάγραμμα με τα βάρη το διάστημα σταθερότητας για το Τεχνικό κριτήριο αντιστοιχεί από το 12,3% έως 18,8% αρα το κριτήριο παρουσιάζει λιγότερη ευαισθησία σε σχέση με την δεύτερη περίπτωση όπου το διάστημα σταθερότητας καλύπτει από το 11,8% έως το 27,9% . Αξίζει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση με τα βάρη μόνο δυο εναλλακτικές επηρεάζονται θετικά από τα Ταχτικά κριτήρια.

Διάγραμμα 5.8 Visual Stability Intervals για το Κοινωνικό κριτήριο με βάρη (αριστερά) με ίσα βάρη (δεξιά). (Ιδία επεξεργασία)



Το διάστημα σταθερότητας στην πρώτη περίπτωση αποτελεί μόνο ένα μικρό ποσοστό από το 25,8% έως το 27,3% ενώ στην περίπτωση με τα ίσα βάρη το διάστημα σταθερότητας καταλαμβάνει ποσοστό από το 14,2% έως το 40% αρά το κριτήριο παρουσιάζει κατά πολύ μεγαλύτερη ευαισθησία. Επίσης παρατηρείται ότι και στις δυο περιπτώσεις οι εναλλακτικές παρουσιάζουν σχεδόν ίδιες καθαρές ροές.

Διάγραμμα 5.9 Visual Stability Intervals για το Περιβαλλοντικό κριτήριο με βάρη (αριστερά) με ίσα βάρη (δεξιά). (Ιδία επεξεργασία)



Στο τελευταίο κριτήριο, το Περιβαλλοντικό το διάστημα σταθερότητας στην περίπτωση με τα βάρη αντιστοιχεί από το 26% έως το 36,9% και στην αντιστοιχεί περίπτωση με τα ίσα βάρη τα ποσοστά είναι από το 30% έως 41,9%, είναι το μόνο κριτήριο που το διάστημα σταθερότητας είναι σχεδόν ίδια. Και στις δύο περιπτώσεις φαίνεται πως οι καθαρές ροές των εναλλακτικών έργων δεν επηρεάζεται τόσο από μία αλλαγή στο βάρος του συγκεκριμένου κριτηρίου καθώς οι κλίσεις των γραμμών δεν παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους.

## 5.5 Συμπεράσματα από την επεξεργασία των δεδομένων

Αρχικά, το πρόγραμμα Visual Promethee όπου έγινε η πολυκριτηριακή ανάλυση είχε αρκετά φιλόξενο και απλό γραφικό περιβάλλον και καθιστά την παρουσίαση ενός ζητήματος πολλαπλών λύσεων εύκολη υπόθεση. Η βέλτιστη λύση κάθε φορά πιθανώς να διαφοροποιείται εάν τεθούν άλλα κριτήρια αξιολόγησης, ειδικά όταν τα κριτήρια είναι αντικρουόμενα. Η προσέγγιση ενός ζητήματος εμπεριέχει έντονο το στοιχείο της υποκειμενικότητας. Οι περιορισμοί που εντοπίζονται, στην διπλωματική εργασία λοιπόν, αφορούν τον καταμερισμό των βαρών των κριτηρίων. Η ακριβής απόδοση των βαρών δεν είναι εύκολη διότι εμπλέκεται η προσωπική γνώμη, παρόλο αυτά τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν στην συγκεκριμένη έρευνα είναι όσο πιο κοντά σε αντίστοιχες έρευνες που χρησιμοποιήθηκαν από την βιβλιογραφία που ερευνήθηκε.

Από τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων στο πρόγραμμα Visual Promethee προκύπτει ότι, καλύτερη εναλλακτική λύση είναι οι Υδροηλεκτρικοί σταθμοί ενώ ακολουθούν οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί σε διασυνδεδεμένο δίκτυο και με μικρή διαφορά ακολουθούν σε μη διασυνδεδεμένο δίκτυο, ενώ όλες οι υπόλοιπες εναλλακτικές συμφώνα με τα αποτελέσματα δεν είναι “συμφέρουσες”.

Το αποτέλεσμα όπως μελετήσαμε παραπάνω κρίθηκε σε μεγάλο βαθμό από τα Οικονομικά, Κοινωνικά και Τεχνικά κριτήρια παρόλο που τα τελευταία έχουν μικρό βαθμό βαρύτητας, ενώ στη βέλτιστη λύση αρνητικό ρόλο έχουν τα Περιβαλλοντικά κριτήρια αλλά επηρεάζουν ελάχιστα το αποτέλεσμα.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (ΥΗΣ) αποτελεί για την Ελλάδα, που διαθέτει έντονο ανάγλυφο και πλούσιο υδροδυναμικό, μία ελπιδοφόρα λύση στο ενεργειακό πρόβλημα της. Η αξιοποίηση της υδροηλεκτρικής ενέργειας από ΥΗΣ παρουσιάζει ιδιαίτερα περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τη χρήση συμβατικών μορφών ενέργειας, μιας και οι επεμβάσεις στο περιβάλλον είναι σαφώς μικρότερες σε μέγεθος. Εκτός των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων τους, παρουσιάζουν και πολλά τεχνικά αλλά και κοινωνικοοικονομικά πλεονεκτήματα. Οι ενδεχόμενες αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τους, οι οποίες διαφέρουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τόσο του υδροηλεκτρικού έργου όσο και της περιοχής, στις

περισσότερες περιπτώσεις αξιολογούνται ως μέτριες ή μικρές αλλά και αντιστρέψιμες. Γενικά, τα ΥΗΕ, εκτός από τη σημαντική συμβολή τους στην περιφερειακή ανάπτυξη, στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού ως εγχώρια ενεργειακή πηγή, στην ανταγωνιστικότητα της οικονομίας εξασφαλίζοντας σχεδόν σταθερό κόστος ενέργειας σε μακροχρόνια βάση αλλά και στη βιώσιμη ανάπτυξη περιορίζοντας τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου. (Καραμπατάκη, 2009)

Σχετικά με την ανάλυση που έγινε παραπάνω ενδιαφέρον προκαλεί και ότι στην σύγκριση των δυο ερευνών δηλαδή στην έρευνα με βάρη και χωρίς, το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό καθώς ως βέλτιστη εναλλακτική προέκυψε οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί σε μη διασυνδεδεμένο δίκτυο. Άρα παρατηρούμε ότι με την εφαρμογή των βαρών το αποτέλεσμα κρίνεται στην βαθμολόγηση των βαρών και έτσι κάθε λύση είναι υποκειμενική.

Επιπλέον, κάθε επενδυτής για κάθε διαφορετική περίπτωση εγκατάστασης ενός έργου ΑΠΕ μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτά τα εργαλεία επεξεργασίας των δεδομένων και αναλόγως τις περιπτώσεις να ορίσει τα αντίστοιχα βάρη και έτσι να βρεθεί η αντίστοιχη λύση, αυτό θα εξετάσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.



## Κεφάλαιο 6 Case Study: Επιλογή έργου ΑΠΕ στην περιοχή της Μαγνησίας

Στο κεφάλαιο αυτό, στα πλαίσια της σύγκρισης των διαφόρων εναλλακτικών ΑΠΕ, θα εξετάσουμε την περίπτωση της εγκατάστασης έργου ΑΠΕ στην Μαγνησία.

Το τελευταίο διάστημα παρατηρείται κατακόρυφη αύξηση του επενδυτικού ενδιαφέροντος για εγκαταστάσεις ΑΠΕ σε γεωργικές και χορτολιβαδικές εκτάσεις. Μάλιστα το τελευταίο ενάμιση χρόνο, ενδεικτικά έχουν υποβληθεί σχεδόν τριακόσιες αιτήσεις, οι οποίες αφορούσαν στην εγκατάσταση φωτοβολταϊκών σε εκτάσεις γεωργικής γης άνω των δεκατεσσάρων χιλιάδων στρεμμάτων. Αυτές όμως οι περιπτώσεις αφορούν μικρές εγκαταστάσεις και όχι του μεγέθους που εξετάσαμε παραπάνω, χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν μπορεί να υπάρξει τέτοιας κλίμακας εγκατάσταση έργου ΑΠΕ στην περιοχή. Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι εγκαταστάσεις Αιολικών πάρκων στην Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας.

Παρακάτω θα εξετάσουμε μέσω του προγράμματος Visual Promethee, ποια εγκατάσταση είναι η βέλτιστη στην περιοχή της Μαγνησίας εξαίροντας τις περιπτώσεις της Γεωθερμίας και Υδροηλεκτρικού Σταθμού. Της Γεωθερμίας λόγω της μη ύπαρξης πρώτων υλών στην περιοχή και του υδροηλεκτρικού σταθμού λόγω το ότι δεν υπάρχουν ποτάμια στην περιοχή με τις αντίστοιχες προδιαγραφές για τέτοιας κλίμακας έργο.

Επιπλέον στην ανάλυση που θα ακολουθήσει θα υπάρξουν και διαφοροποιήσεις σε κάποια κριτήρια καθώς θα θέσουμε ως προτεραιότητα το κόστος επένδυσης, την αποδοτικότητα, τις θέσεις εργασίας, αλλά και ολόκληρο το περιβαλλοντικό κριτήριο καθώς προτεραιότητα μας στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το Περιβάλλον.




















Ακολουθεί ο πίνακας με τα αντίστοιχα βάρη (Πίνακας 6.1)

Πίνακας 6.1 Πίνακας με βάρη (Case Study: Μαγνησία) (Ιδία επεξεργασία)

Κριτήριο	Βάρη	Υπο-κριτήριο	Βάρη	Τελικά Βάρη
ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0.25	Κόστος εγκατάστασης	0.55	0.137
		Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	0.3	0.075
		Τιμή πώλησης ενέργειας	0.15	0.037
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ	0.4	Επίδραση στο έδαφος	0.17	0.068
		Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες	0.21	0.084
		Ηχορύπανση	0.23	0.092
		Αλλοίωση τοπίου	0.2	0.08
		Απαιτούμενη έκταση	0.19	0.076
ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	0.15	Αποδοτικότητα	0.6	0.108
		Αξιοπιστία	0.25	0.045
		Διάρκεια ζωής	0.15	0.027
ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ	0.17	Θέσεις εργασίας	0.5	0.085
		Κοινωνική αποδοχή	0.2	0.034
		Πρόσθετα κοινωνικά οφέλη	0.3	0.051






Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας σε περιβάλλον Promethee όπως διαμορφώθηκε με τα βάρη για κάθε κριτήριο. (Πίνακας 6.2)

Πίνακας 6.2: Πίνακας PROMETHEE με βάρη κριτηρίων (Case study: Μαγνησία) (Ιδια επεξεργασία)

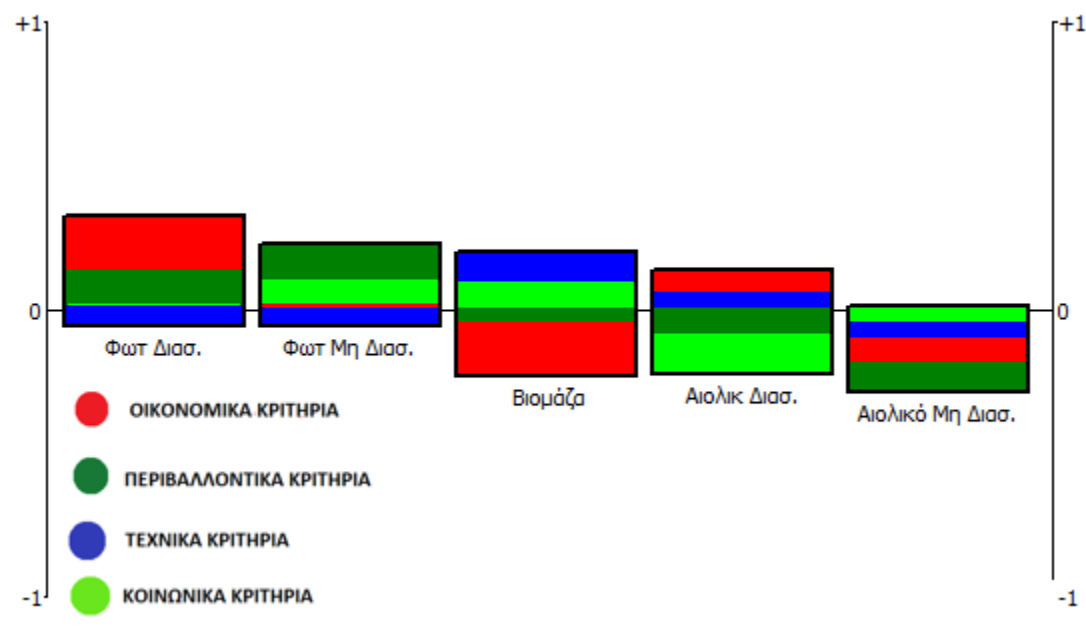
Έργο ΑΠΕ		Κόστος Επέν...	Κόστος Λετο...	Τιμή πώληση...	Επίδραση στ...	Επίδραση στ...	Ηχορύπανση	Αλλοίωση το...	Αναπνέουσα...	Αποδοτικότητα...	Αξιοπιστία	Διάρκεια ζωής	Θέσεις εργα...	Κοινωνική α...	Προσθετά κο...	
Unit		εκατο. €/MWh	χιλ/GWh	€/MWh	5-point	5-point	5-point	5-point	5-point	%	5-point	έτη	unit	5-point	5-point	
Cluster/Group																
Preferences																
Min/Max		min	min	max	min	min	min	min	min	max	max	max	max	min	max	
Weight		0.14	0.07	0.04	0.07	0.08	0.09	0.08	0.08	0.11	0.04	0.03	0.09	0.03	0.05	
Preference Fn.		Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	
Thresholds		absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	
- Q: Indifference		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- P: Preference		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
- S: Gaussian		n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	
Statistics																
Minimum		€ 0.80	€ 8.3	€ 65.0	1	1	1	2	3	15	1	20	8	3	1	
Maximum		€ 4.70	€ 82.0	€ 133.0	3	4	4	5	5	60	5	32	48	5	4	
Average		€ 2.36	€ 38.3	€ 82.5	2	2	3	4	4	33	3	26	31	4	3	
Standard Dev.		€ 1.44	€ 28.4	€ 26.3	1	1	1	1	1	17	1	5	19	1	1	
Evaluations																
Αιολικ Διασ.			€ 1.49	€ 33.0	€ 65.8	1	1	4	5	5	60	1	20	8	5	1
Αιολικό Μη Διασ.			€ 3.32	€ 58.0	€ 84.0	1	1	4	5	5	35	1	20	8	5	4
Φωτ Διασ.			€ 0.80	€ 8.3	€ 65.0	3	1	1	2	4	15	3	32	45	3	1
Φωτ Μη Διασ.			€ 1.50	€ 10.0	€ 65.0	3	1	1	2	4	15	3	32	45	3	4
Βιομάζα			€ 4.70	€ 82.0	€ 133.0	2	4	4	4	3	40	5	25	48	4	3

Στη συνέχεια παρουσιάζονται και αναλύονται τα αποτελέσματα που έδωσε το PROMETHEE με τα βάρη που οριστήκαν, με τις μεθόδους ανάλυσης Promethee Table και Promethee Rainbow.

Πίνακας 6.3: Πίνακας PROMETHEE Table (Case study: Μαγνησία). (Ιδία επεξεργασία)

Rank	Car		Phi	Phi+	Phi-
1	Φωτ Δισ.		0.2615	0.5113	0.2497
2	Φωτ Μη Δισ.		0.1634	0.4622	0.2988
3	Βιομάζα		-0.0450	0.4545	0.4995
4	Αιολικ Δισ.		-0.0961	0.3391	0.4352
5	Αιολικό Μη Δισ.		-0.2838	0.2452	0.5290

Διάγραμμα 6.1: Διάγραμμα PROMETHEE Rainbow (Case study: Μαγνησία). (Ιδία επεξεργασία)



Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, παρατηρούμε ότι η βέλτιστη εγκατάσταση έργου ΑΠΕ στην Μαγνησία από τις εναλλακτικές που εξετάσαμε είναι οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί στην ηπειρωτική Μαγνησία. Το κύριο κριτήριο είναι το οικονομικό παρόλο την αύξηση των βαρών του Περιβαλλοντικού κριτηρίου. Επιπλέον τα κοινωνικά κριτήρια επηρεάζουν πολύ λίγο το αποτέλεσμα καθώς έχουν θετικό αντίκτυπο στο αποτέλεσμα αλλά μικρό ποσοστό στο σύνολο, ενώ τα κοινωνικά κριτήρια έχουν αρνητικό ρόλο στην κύρια εναλλακτική.

Συμπεραίνουμε ότι στην Μαγνησία τα έργα ΑΠΕ που μπορούν να εγκατασταθούν είναι οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί. Η κατεύθυνση που ακολουθεί η υπάρχουσα κατάσταση είναι ενθαρρυντική καθώς τα τελευταία χρόνια όπως αναφέρεται και παραπάνω οι αιτήσεις για εγκατάσταση Φωτοβολταϊκών σταθμών είναι στην περιοχή είναι αυξητική.

## Συμπεράσματα

Η εντατική χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση πληθώρας περιβαλλοντικών προβλημάτων. Η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αποτελεί το κλειδί για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών. Η εγκατάσταση και λειτουργία Α.Π.Ε. απαιτεί την εξέταση πληθώρας κριτηρίων με σκοπό την αποτελεσματικότερη εκμετάλλευση του ανανεώσιμου πόρου, την προστασία του φυσικού και ανθρωπογενούς περιβάλλοντος και τέλος την αποφυγή συγκρούσεων χρήσεων γης.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η παρουσίαση των ΑΠΕ όπως και των πλεονεκτημάτων που μας προσφέρουν, αλλά και το πως μπορεί να εξελιχθεί ο ενεργειακός χάρτης της Ελλάδας αλλά και γενικότερα παγκοσμίως ώστε να είναι λιγότερο εξαρτισμένο από μη ανανεώσιμες πηγές.

Η υπάρχουσα κατάσταση στην Ελληνική αγορά ενέργειας και το πλούσιο γεωλογικό και κλιματικό δυναμικό της χώρας δίνει ξεκάθαρα επενδυτικά κίνητρα στον τομέα των Α.Π.Ε. Σε αυτή την έρευνα λαμβάνοντας υπόψη τη πολυπλοκότητα του προβλήματος επιλογής του είδους της επένδυσης έργων από Α.Π.Ε επιχειρήθηκε ο καθορισμός του προβλήματος απόφασης και η μοντελοποίηση των κριτηρίων απόφασης.

Για την μοντελοποίηση του προβλήματος πρώτα έγινε έρευνα μέσα από την βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα εργασία ποια είδη ανάλυσης έχουν χρησιμοποιηθεί για τέτοια είδους προβλήματα και καταλήξαμε στην Πολυκριτηριακή ανάλυση με την χρήση του προγράμματος Visual Promethee.

Στη συνέχεια για την μοντελοποίηση του προβλήματος επιλογής επένδυσης ορίστηκαν οι επτά κύριες εναλλακτικές επενδύσεις σε έργα ΑΠΕ. Έπειτα, πραγματοποιήθηκε η σύγκριση των διαφόρων ενεργειακών πηγών ως προς τα οικονομικά, κοινωνικά, περιβαλλοντικά και τεχνικά κριτήρια αξιολόγησης και ορίστηκαν

αντίστοιχα βάρη για την πραγματοποίηση σε επόμενο στάδιο η μεθοδολογία, βασισμένη στην πολυκριτηριακή μέθοδο λήψης απόφασης PROMETHEE.

Στην εφαρμογή της μεθοδολογίας μέσω του προγράμματος έγινε σύγκριση δυο μεθόδων αυτή με την χρήση βαρών και αυτή των ίσων βαρών. Από τα αποτελέσματα από την επεξεργασία των δεδομένων στο πρόγραμμα Visual Promethee προκύπτει ότι, καλύτερη εναλλακτική λύση είναι οι Υδροηλεκτρικοί σταθμοί ενώ ακολουθούν οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί σε διασυνδεδεμένο δίκτυο.

Τέλος στο Case study που ακολούθησε για την Περιφερειακή ενότητα Μαγνησίας ορίστηκαν ειδικά βάρη βάση προτεραιοτήτων και το αποτέλεσμα ήταν οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί κάτι που όπως φαίνεται από την κατεύθυνση που ακολουθεί η υπάρχουσα κατάσταση είναι ενθαρρυντική καθώς αυτός ο τομέας αναπτύσσεται στην περιοχή.

## Προτάσεις (περαιτέρω έρευνα)

Η πολυκριτήρια αξιολόγηση των εναλλακτικών επενδύσεων Α.Π.Ε αναλύθηκε και περιεγράφηκε λεπτομερώς και επιτυχώς στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής εργασίας. Εντούτοις πρέπει να επισημανθεί ότι αυτή η εργασία αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση σε ένα πολυδιάστατο αντικείμενο μελέτης όπως είναι αυτό του ενεργειακού σχεδιασμού από Α.Π.Ε με τη χρήση της πλέον εγκεκριμένης μεθόδου στον τομέα της επιχειρησιακής έρευνα όπως η αυτή της πολυκριτηριακής ανάλυσης.

Αυτή η έρευνα προσφέρει τη δυνατότητα νέων προοπτικών για εφαρμογές προς αυτή τη κατεύθυνση οι οποίες:

- Έχουν τη δυνατότητα να συμπεριλάβουν ως εναλλακτικές επενδύσεις και συνδυασμούς των αυτών που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα έρευνα (πχ υβριδικά συστήματα).

- Αφορούν χώρες εκτός της Ελλάδας στις οποίες οι παράμετροι του προβλήματος διαφοροποιούνται, διαφορετικές εναλλακτικές αναδύονται και διαφορετικές βέλτιστες λύσεις είναι πολύ πιθανό να επέλθουν.
- Εξετάζουν την παρουσία πολλαπλών αποφασιζόντων στα πλαίσια της λήψης απόφασης. Σε αυτή την περίπτωση θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και να συναθροιστούν τα προτιμησιακά δεδομένα περισσοτέρων αποφασιζόντων, σε ένα ολιστικό μοντέλο προτίμησης.
- Λαμβάνουν ως υποψήφιο επενδυτή το ελληνικό κράτος και χρησιμοποιούν την πολυκριτήρια μέθοδο σε συγκεκριμένες περιοχές της χώρας, με αποτέλεσμα να αποτελούν ένα βασικό εργαλείο του κρατικού ενεργειακού σχεδιασμού.



## Παράρτημα

Στο κεφάλαιο 5 παρουσιάστηκαν οι τιμές των διαστάσεων και εν τέλει των κριτηρίων που λήφθηκαν υπόψη για τη μοντελοποίηση του προβλήματος που εξετάσαμε. Στο σημείο αυτό γίνεται περιγραφή της μεθόδου συγχώνευσης για το εκάστοτε κριτήριο. Επίσης, παρακάτω έχουμε και τον αρχή βαθμονόμησης των μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν σε μορφή κλίμακας.

### **ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟ ΚΡΙΤΗΡΙΟ**

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν είναι από την The International Renewable Energy Agency (IRENA) και αναφέρονται στις χρονιές 2019-2020.

#### ➤ **Κόστος εγκατάστασης**

Αναφορικά με την μεταβλητή Κόστος εγκατάστασης τα στοιχεία είναι για το έτος 2019 και αφορούν την Ευρώπη.

Επίσης σε σύγκριση με το 2010 η μεταβολή των τιμών του κόστους εγκατάστασης των διασυνδεδεμένων αιολικών πάρκων είχαν πτώση 27% και σε σχέση με τις πρώτες εγκαταστάσεις το 1983 η μεταβολή της πτώσης της τιμής είναι 72%.

Αναφορικά με το κόστος εγκατάστασης των Φωτοβολταϊκών σταθμών η πτώση των τιμών για τα έτη 2010-2019 είναι 79%.

Για τις υπόλοιπες εναλλακτικές οι μεταβολές των τιμών δεν είναι τόσο αξιοσημείωτες.

Σχετικά με τις τιμές εγκατάστασης των Υδροηλεκτρικών σταθμών, των γεωθερμικών και σταθμών για Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα οι τιμές είναι προσεγγιστικές καθώς υπάρχουν μεγάλες διαφορές στις τιμές αναλόγως των μεγεθών των έργων και των διαφορετικών λειτουργιών τους.

#### ➤ **Κόστος λειτουργίας και συντήρησης**

Η μεταβλητή του Κόστους λειτουργίας και συντήρησης στις περισσότερες εναλλακτικές είναι προσεγγιστικές λόγω το ότι σχεδόν κάθε μεγάλο κράτος μέλος τις ΕΕ έχει διαφορετικές τιμές παρόλο αυτά οι τιμές είναι σχετικά όμοιες. Να προσθέσω ότι σε σχέση με το 2010 πάλι οι τιμές έχουν πτωτική πορεία.

#### ➤ **Τιμή πώλησης ενέργειας**

Η μεταβλητή αυτή είναι βάση στοιχείων [www.buildeco.gr](http://www.buildeco.gr) και αφορούν το έτος 2020.

Πίνακας 7.1 Οικονομικό κριτήριο (Ιδία επεξεργασία)

Εναλλακτική	Κόστος Επένδυσης (Εκατομμύρια €/MW)	Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (χιλιάδες €/GWh )	Τιμή πώλησης ενέργειας ( €/MWh )
Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)	1,49	33	65.75
Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	3,32	58	84
Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)	0,8	8,3	65
Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	1,5	10	65
Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα	1,4	15	87
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία	3,15	95	104
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα	4,7	82	133

**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ**

Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία αυτού του κριτηρίου είναι σε κλίμακα από το 1 έως 5.

➤ **Επίδραση στο έδαφος**

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της μεταβλητής:

Πίνακας 7.2 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : **Επίδραση στο έδαφος** (Ιδία επεξεργασία)

Κλίμακα 1-5	Επίδραση στο έδαφος
1	Απλή δέσμευση εδάφους
2	Δέσμευση εδάφους και ρύπανση σε ειδικές περιπτώσεις
3	Απλή δέσμευση εδάφους και καθιζήσεις
4	Απλή δέσμευση εδάφους , καθιζήσεις σε ειδικές
5	Πάγια ρύπανση και αλλοίωση του εδάφους κατά την λειτουργία και κάλυψη του εδάφους με νερό

Να επισημάνουμε ότι τα αιολικά πάρκα δεν επηρεάζουν τις χρήσεις της γης στην οποία εγκαθίστανται, ενώ οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να υπάρξει ρύπανση του εδάφους μόνο σε περιπτώσεις διαρροής κάποιου από τα χημικά που χρησιμοποιούνται για τη συντήρησή τους.

Την μεγαλύτερη επίδραση στο έδαφος παρουσιάζουν οι Υδροηλεκτρικοί σταθμοί καθώς εμποδίζουν την τροφοδοσία με φερτές ύλες, μεταβάλλονται οι χρήσεις της γης στην περιοχή του ταμιευτήρα και ταυτόχρονα, έχουμε κάλυψη ενός μεγάλου μέρους ξηράς με νερό, γεγονός το οποίο προκαλεί προβλήματα επιβίωσης στα προϋπάρχοντα χερσαία οικοσυστήματα τα οποία δεν προσαρμόζονται εύκολα στην αλλαγή αυτή.

Αναφορικά με τους Γεωθερμικούς σταθμούς οι επιδράσεις στο έδαφος που παρουσιάζουν είναι καθιζήσεις όταν παρατηρείται μεγαλύτερη απομάκρυνση γεωθερμικών ρευστών από τη φυσική τους εισροή, σε περιοχές γεωθερμικών σταθμών παρατηρείται πολλές φορές αύξηση της φυσικής σεισμικότητας του εδάφους. Ενώ στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού από Βιομάζα, καθιζήσεις μπορούν επίσης να παρατηρηθούν σε μονάδες βιομάζας που αξιοποιούν βιοαέριο.

➤ **Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες**

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της μεταβλητής:

Πίνακας 7.2 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : **Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες** (Ιδία επεξεργασία)

Κλίμακα 1-5	Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες
1	Καμία
2	Απλή χρήση του νερού (έμμεση επιρροή στους υδάτινους αποδέκτες)
3	Χρήση νερού και χρήση χημικών στους υδάτινους αποδέκτες
4	Χρήση νερού , αλλοίωση της φυσικής ροής και διατάραξη του

	υδάτινου οικοσυστήματος
5	Χρήση νερού, αλλοίωση της φυσικής ροής , χρήση χημικών και διατάραξη του οικοσυστήματος

Η επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες όσον αφορά τα αιολικά πάρκα και τους Φωτοβολταϊκούς σταθμούς είναι μηδενική, ενώ στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς η επίδραση που παρουσιάζουν είναι στην διακοπή της φυσικής ροής του ποταμού και έχουμε προβλήματα υδροληψίας των οικοσυστημάτων που ζουν στα κοντά. Στους γεωθερμικούς σταθμούς και στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού από Βιομάζα μεγάλες ποσότητες νερού χρησιμοποιούνται ως μέσο ψύξης και στη συνέχεια απορρίπτονται στον υδάτινο φορέα απ' όπου αντλήθηκαν. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του υδάτινου φορέα και τη διατάραξη της ισορροπίας του οικοσυστήματος που ζει στον υγρότοπο.

#### ➤ **Ηχορύπανση**

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της μεταβλητής:

Πίνακας 7.3 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : **Ηχορύπανση** (Ιδία επεξεργασία)

Κλίμακα 1-5	<b>Ηχορύπανση</b>
1	Ηχορύπανση μόνο κατά τη τοποθέτηση
2	-
3	Ηχορύπανση κατά την λειτουργία
4	-
5	Αισθητή και μη αντιμετωπίσιμη ηχορύπανση

Σχετικά με την ηχορύπανση τα αιολικά πάρκα Προκαλείται ηχορύπανση κατά τη λειτουργία όπως και με την εκμετάλλευση της γεωθερμίας. Στους Φωτοβολταϊκούς σταθμούς και στους υδροηλεκτρικούς σταθμούς Προκαλείται ηχορύπανση μόνο κατά την φάση τοποθέτησης. Τα μεγαλύτερα ποσοστά ηχορύπανσης παρουσιάζουν οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρισμού από Βιομάζα κατά τη λειτουργία των μηχανών της μονάδας και των οχημάτων μεταφοράς καυσίμου.

#### ➤ **Αλλοίωση τοπίου**

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της μεταβλητής:

Πίνακας 7.4 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : **Αλλοίωση τοπίου** (Ιδία επεξεργασία)

Κλίμακα 1-5	<b>Αλλοίωση τοπίου</b>
1	Υποκειμενική αλλοίωση και μικρή διατάραξη του οικοσυστήματος

2	Αλλοίωση και μικρή διατάραξη του οικοσυστήματος
3	Αλλοίωση και μικρή διατάραξη του οικοσυστήματος με εκπομπές αερίων
4	Αλλοίωση και μικρή διατάραξη του οικοσυστήματος με επιπλέον παρουσία κτηριακών εγκαταστάσεων
5	Έντονη αλλοίωση και διατάραξη του οικοσυστήματος με μεγάλες κτηριακές εγκαταστάσεις

Τα αιολικά πάρκα παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη αλλοίωση, όπως και οι Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί με την ύπαρξη φραγμάτων που διαταράσσει έντονα και το οικοσύστημα ενώ επιπλέον απαιτούνται και κτιριακές εγκαταστάσεις (προβλήματα επιβίωσης στα προϋπάρχοντα χερσαία οικοσυστήματα τα οποία δεν προσαρμόζονται εύκολα στην αλλαγή αυτή) παρόλο αυτά τα αιολικά πάρκα προκαλούν πιο αισθητή την αλλοίωση αυτή.

Οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί προκαλούν Υποβάθμιση του τοπίου ανάλογη της καταλαμβανόμενης έκτασης και μικρή διατάραξη οικοσυστήματος. Ανάλογη αλλοίωση των αιολικών παρουσιάζεται και στις μονάδες Βιομάζας με Έντονη αισθητική υποβάθμιση κυρίως λόγω του μεγέθους των μονάδων και των έντονων εκλυόμενων οσμών. Οι Γεωθερμικοί σταθμοί βρίσκεται συνήθως σε περιοχές μεγάλης φυσική ομορφιάς με συνέπεια να έχουμε μεγάλη αισθητική υποβάθμιση του τοπίου ενώ παράλληλα είναι πιθανή η μόλυνση αυτού λόγω των εκπομπών αερίων (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S).

#### ➤ **Απαιτούμενη έκταση**

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της μεταβλητής:

Πίνακας 7.5 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης: **Απαιτούμενη έκταση** (ιδία επεξεργασία)

Κλίμακα 1-5	Απαιτούμενη έκταση
1	Μικρή έκταση
2	-
3	Μεσαία έκταση
4	-
5	Μεγάλη έκταση

Οι απαιτούμενες εκτάσεις για κάθε εναλλακτική διαφέρουν σε μεγάλο βαθμό, τα αιολικά πάρκα καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο, ενώ οι Φωτοβολταϊκοί σταθμοί λιγότερο. Οι υπόλοιπες εναλλακτικές καταλαμβάνουν και αυτές λιγότερο χώρο.

Πίνακας 7.6 Περιβαλλοντικό κριτήριο (Ιδία επεξεργασία)

Εναλλακτική	Επίδραση στο έδαφος	Επίδραση στους υδάτινους αποδέκτες	Ηχορύπανση	Αλλοίωση τοπίου	Απαιτούμενη έκταση
Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)	1	1	4	5	5
Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	1	1	4	5	5
Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)	3	1	1	2	4
Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	3	1	1	2	4
Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα	5	4	2	3	3
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία	3	4	3	4	3
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα	2	4	4	4	3

**ΤΕΧΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ****➤ Αποδοτικότητα**

Η αποδοτικότητα εκφράζεται στον πίνακα με τα αντίστοιχα ποσοστά τα κάθε εναλλακτικής.

**➤ Αξιοπιστία**

Για την αξιολόγηση της αξιοπιστίας της κάθε ανταλλακτικής χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της μεταβλητής:

Πίνακας 7.7 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : **Αξιοπιστία** (Ιδία επεξεργασία)

Κλίμακα 1-5	Αξιοπιστία
1	Καμία εξάρτηση από γεωλογικές-κλιματικές συνθήκες και συνεχής , διαχρονική συμπεριφορά
2	Καμία εξάρτηση από γεωλογικές-κλιματικές συνθήκες και μικρή εξάρτηση από πρώτη ύλη
3	Εξάρτηση από μία γεωλογική-κλιματική συνθήκη
4	Εξάρτηση από περισσότερες γεωλογικές-κλιματικές συνθήκες
5	Εξάρτηση από μία γεωλογική-κλιματική συνθήκη και απρόβλεπτη διακύμανση ενέργειας

Είναι λογικό η αξιοπιστία των αυλικών πάρκων να είναι μεγάλη καθώς η εξάρτηση από τον άνεμο και σχετικά απρόβλεπτη διακύμανση ενέργειας, όπως και των Φωτοβολταϊκών σταθμών καθώς εξαρτώνται από την ηλιοφάνεια, κάτι βέβαια που στην Ελλάδα είναι πιο συχνό φαινόμενο και έτσι είναι μικρότερο το ποσοστό σε σχέση με τα αιολικά πάρκα. Οι Υδροηλεκτρικοί σταθμοί έχουν άριστη διαχρονική συμπεριφορά και πρακτικά μηδενική εξάρτηση (λιγοστή εξάρτηση από βροχοπτώσεις. Η σταθμοί Γεωθερμίας και Βιομάζας έχουν συνεχή ημερήσια λειτουργία χωρίς εξάρτηση από φυσικές αιτίες που μπορεί να την παρεμποδίσουν (λιγοστή αλλά προβλεπόμενη εξάρτηση γεωθερμικού δυναμικού και της πρώτης ύλης).

**➤ Διάρκεια ζωής**

Η διάρκεια ζωής εκφράζεται στον πίνακα με τα αντίστοιχα χρονιά τα κάθε εναλλακτικής. Στις εναλλακτικές με μη ακριβές χρόνο ζωής, αυτό που χρησιμοποιήθηκε για το υπολογισμό του περιβαλλοντικού κριτηρίου είναι τα μέσα χρονιά, αντίστοιχα.

Πίνακας 7.8 Τεχνικό κριτήριο (Ιδία επεξεργασία)

Εναλλακτική	Αποδοτικότητα	Αξιοπιστία	Διάρκεια ζωής
Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)	<b>60</b>	<b>1</b>	<b>20</b>
Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	<b>35</b>	<b>1</b>	<b>20</b>
Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>25-40</b>
Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	<b>15</b>	<b>3</b>	<b>25-40</b>
Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα	<b>90</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία	<b>15</b>	<b>5</b>	<b>20</b>
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα	<b>40</b>	<b>5</b>	<b>20-30</b>



**ΚΟΙΝΩΝΙΚΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ****➤ Θέσεις εργασίας**

Οι τιμές της μεταβλητής φαίνονται παρακάτω και αφορούν εργατοέτη ανά εγκατεστημένο MW.

**➤ Κοινωνική αποδοχή**

Για την αξιολόγηση της κοινωνικής αποδοχής της κάθε ανταλλακτικής χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της μεταβλητής:

Πίνακας 7.9 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : **Κοινωνική αποδοχή** (Ιδία επεξεργασία)

Κλίμακα 1-5	Κοινωνική αποδοχή
1	Θετική αποδοχή
2	-
3	Μέτρια αποδοχή
4	-
5	Αρνητική αποδοχή

Η κοινωνική αποδοχή των ΑΠΕ βρίσκεται ακόμα σε αρχικό επίπεδο και αυτό φαίνεται από τις αντιρρήσεις των κατοίκων, κυρίως η αποδοχή των αιολικών πάρκων είναι αρνητική.

**➤ Προσθετά κοινωνικά οφέλη**

Χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω κλίμακα για τη βαθμονόμηση της μεταβλητής.

Πίνακας 7.10 Κλίμακα βαθμονόμησης διάστασης : **Πρόσθετα κοινωνικά οφέλη** (Ιδία επεξεργασία)

Κλίμακα 1-5	Πρόσθετα κοινωνικά οφέλη
1	Γρήγορη κάλυψη αιχμής ζήτησης διασυνδεδεμένου συστήματος και επιπλέον χρήσεις
2	Κάλυψη ζήτησης μη διασυνδεδεμένου συστήματος
3	Δυνατότητα αποθήκευσης και συνεχούς παροχής ενέργειας

4	Συνεχής παροχή ενέργειας
5	-

Τα πρόσθετα κοινωνικά οφέλη διακρίνονται έντονα στα μη διασυνδεδεμένα δίκτυα όπως στις νησιωτικές περιοχές. Σημαντικά οφέλη διακρίνονται και στους Υδροηλεκτρικούς σταθμούς καθώς η δυνατότητα πολύ γρήγορης παραλαβής και απόρριψης φορτίου έτσι ώστε να γίνεται δυνατή η παρακολούθηση της μεταβολής της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και η κάλυψη των αιχμών ζήτησης του διασυνδεδεμένου δικτύου και δυνατότητα χρήσης του νερού για άρδευση-ύδρευση κ.α. Στις εναλλακτικές της Γεωθερμίας και Βιομάζας τα οφέλη είναι σημαντικά καθώς γίνεται συνεχής παροχή ενέργειας και επίσης η δυνατότητα αποθήκευσης και συνεχούς παροχής ενέργειας αντίστοιχα.

Εναλλακτική	Θέσεις εργασίας	Κοινωνική αποδοχή	Προσθετά κοινωνικά οφέλη
Αιολικό πάρκο στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένο)	<b>7,5</b>	<b>5</b>	<b>1</b>
Αιολικό πάρκο σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	<b>7,5</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
Φωτοβολταϊκός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα (Διασυνδεδεμένος)	<b>45</b>	<b>3</b>	<b>1</b>
Φωτοβολταϊκός σταθμός σε νησί (Μη Διασυνδεδεμένο)	<b>45</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Μικρός Υδροηλεκτρικός σταθμός στην ηπειρωτική Ελλάδα	<b>27</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Γεωθερμία	<b>56</b>	<b>3</b>	<b>2</b>
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Βιομάζα	<b>48</b>	<b>4</b>	<b>3</b>

Πίνακας 7.11 Κοινωνικό κριτήριο (Ιδία επεξεργασία)

## Βιβλιογραφία

- Ξενόγλωσση

Andreopoulou, Koliouska, Galariotis, Zopounidis (2017). Renewable energy sources: Using PROMETHEE II for ranking websites to support market opportunities

Alice Favero, Emanuele Massetti (2013). Trade of woody Biomass for Electricity Generation under Climate Mitigation Policy. Resource and Energy Economics

Alizadeh R., Soltanisehat L., Lund P., Zamanisabzi H. (2020). Improving renewable energy policy planning and decision-making through a hybrid MCDM method

Arif Malik, Mohammed Al Badi, Abdullah Al Kahali, Younis Al Nabhani, Alwarith Al Bahri, Hamed Al Barhi (2014). Evaluation of Renewable Energy Projects Using Multi-Criteria Approach,

Astariz, S., & Iglesias, G., (2017). The collocation feasibility index—A method for selecting sites for co-located wave and wind farms

Belton V., Stewart T.J., 2002, Multiple criteria decision analysis: an integrated approach, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers

Bichpuriya, Y., & Soman, S. A (2010). Electric power exchanges: A review. In 16th National Power Systems Conference

Catalina, T., Virgone, J., Blanco, E. (2011), Multi-source energy systems analysis using a multi-criteria decision aid methodology, Renewable Energy

Department of Energy and Climate Change (20 Review of the generation costs and deployment potential of renewable electricity technologies in the UK

Greenpeace. Πράσινη ανάπτυξη και θέσεις εργασίας. Μάιος, 2009

IEA (2020). Levelised Cost of Electricity Calculator, Interactive table of LCOE estimates from Projected Costs of Generating Electricity 2020

IRENA (2019), Renewable Power Generation Costs in 2019, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

International Energy Agency (2010). Technology Roadmap: Concentrating Solar Power

International Energy Agency (2010). Renewable Energy Essentials: Hydropower

International Energy Agency (2009). Technology Roadmap Wind energy

Ioannidis R., and Koutsoyiannis D. (2020). A review of land use, visibility and public perception of renewable energy in the context of landscape impact

Jingzheng R. (2020). Renewable-Energy-Driven Future. Technologies, Modelling, Applications, Sustainability and Policies

Jobert A, Laborgne P, Mimler S. (2007). “Local acceptance of wind energy: factors of success identified in French and German case studies”

José F. Herbert-Acero, O. P.-E.-V. (2014). A Review of Methodological Approaches for the Design and Optimization of Wind Farms

Karakosta C., Pappas C., Marinakis V., Psarras J. (2013). Renewable energy and nuclear power towards sustainable development: Characteristics and prospects

Kaya T., Kahraman C. (2010). Multicriteria decision making in energy planning using a modified fuzzy Topsis methodology. Expert systems with applications

Ketsetzi, A., & Capraro, M. M (2016). Renewable Energy Sources. In A Companion to Interdisciplinary STEM Project-Based Learning, SensePublishers.

Kizielewicz B., Szyjewski Z. (2020). Handling economic perspective in multicriteria model - renewable energy resources case study666666666666

Kumar A., Sah B., Singh A.R, Deng Y., He X., Kumar P., Bansal R. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development Renew. Sustain. Energy Rev.

Menegaki A. (2008). Valuation for renewable energy: A comparative review

Makan A., Fadili A. (2020). Sustainability assessment of large-scale composting technologies using PROMETHEE method

Lopes, F (2018). Electricity Markets and Intelligent Agents Part I: Market Architecture and Structure. In Electricity Markets with Increasing Levels of Renewable Generation: Structure, Operation, Agent-based Simulation, and Emerging Designs. Springer, Cham.

Paravantis, Stigka, Mihalakakou, Michalena, Hills, Dourmas (2018) Social acceptance of renewable energy projects: A contingent valuation investigation in Western Greece

RIDA, R. I. (2012). Renewable Energy Siting Guidelines Part 1: Interim Siting Factors for Terrestrial Wind Energy Systems. Providence: RIDA.

San – Cristobal Mateo, J.R. (2012). Multi – criteria analysis in the Renewable Energy Industry. NW: Springer

Stanković, Janković-Milić, Marjanović, Janjić (2021) An integrated approach of PCA and PROMETHEE in spatial assessment of circular economy indicators

Lee, C. Y., & Heo, H (2016). Estimating willingness to pay for renewable energy in South Korea using the contingent valuation method

Loken, E. (2007), Use of multi-criteria decision analysis methods for energy planning problems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol.11

Theresa M. Groth, C. A. (2014). Rural wind farm development: Social, environmental and economic features important to local residents

Tsoutsos T, Drandaki M, Frantzeskaki N, Iosifidis E, Kiosses I. (2009). Sustainable energy planning by using multi-criteria analysis application in the island of Crete. Energy Policy

UK Department of Energy and Climate Change. UK Electricity Generation Costs Update. Mott MacDonald, 2010

U.S. Department of Energy (2006). Geothermal Technologies Program, Energy Efficiency and Renewable Energy.

Walker and Devine-Wright (2008). Community renewable energy: what should it mean? Energy pol36

Zografakis N., Sifaki E., Pagalou M., Nikitaki G., Psarakis V., Tsagarakis K.,(2010). Assessment of public acceptance and willingness to pay for renewable energy sources in Crete. Renewable and sustainable energy reviews

Zorounidis, K., Pardalos M. (2010). Handbook of multi-criteria analysis. NW: Springer

- *Ελληνόγλωσση*

Αποστόλου Ι. (2018). Διπλωματική εργασία: Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Στην Ελλάδα: Εξέλιξη Ενεργειακών Μεγεθών Και Προβλέψεις, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Βασιλάκης Χ. (2019). Διπλωματική εργασία : Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Επενδύσεων σε Έργα χωροθέτησης και κατασκευής Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στην Ελλάδα

Βλάχου Α.. (2001). Περιβάλλον και φυσικοί πόροι, Οικονομική θεωρία και πολιτική, Τόμος Α. Εκδόσεις Κριτική, Αθήνα

Γαλούσης Α (2009).. Διπλωματική εργασία: Μελέτη Σκοπιμότητας Ίδρυσης Μικρού Υδροηλεκτρικού Σταθμού. Πειραιάς

Διακουλάκη Δ. (2005). Σημειώσεις: Ανάλυση Συστημάτων και Λήψη Αποφάσεων. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός (2018). Εθνικό Σχέδιο Για Την Ενέργεια Και Το Κλίμα, Σχέδιο Προς Διαβούλευση, ΥΠΕΝ

Εθνικός Ενεργειακός Σχεδιασμός (2012) Οδικός χάρτης για το 2050

Ζαγγανα Δ. (2019). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Ενεργειακός Σχεδιασμός Και Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων Σε Νέο Κτήριο Κατοικίας – Μελέτη Εφαρμογής Θερμομόνωσης Και Συστημάτων, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Καραμπατάκη Δ.. Διπλωματική εργασία: Η συμβολή των υδροηλεκτρικών έργων στις πολλαπλές χρήσεις νερού: η κατάσταση στην Ελλάδα. Οκτώβριος, 2009

Καρασαββίδης Π., Τζιμόπουλος, Χ. Ευαγγελίδης (2009). 6ο Πανελλήνιο Συνέδριο Εταιρείας Γεωργικών Μηχανικών Ελλάδος, Εφαρμογή της μεθόδου ΑHP στην επιλογή της βέλτιστης θέσης κατασκευής φράγματος στην περιοχή Λιβαδιού Λαρίσης. Σύγκριση με το Συμβιβαστικό Προγραμματισμό. Θεσσαλονίκη, 8-10 Οκτωβρίου 2009

Καραπαναγιωτίδου Π. (2018). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Στρατηγική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων για την Χωροθέτηση Χερσαίων Αιολικών Εγκαταστάσεων στην Ελλάδα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Κατσίρη Α. (2011). Εισαγωγή την ενεργειακή τεχνολογία: Βιομάζα, Αθήνα

Κορωναίος Ι. (2012). Σύγγραμμα: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Περιβάλλον Και Ανάπτυξη. Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διεπιστημονικό - Δια τμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών (Δ.Π.Μ.Σ.), Αθήνα 2012

Κουβαρά Ι. (2010). Πτυχιακή εργασία: Κοινωνική αποδοχή των Α.Π.Ε στην Ελλάδα. Αθήνα

Λάμπρου Μ. (2017). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Αξιολόγηση Έργων ΑΠΕ (Αιολικά Πάρκα) στους νομούς Ηλίας και Αχαΐας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Λωσταράκου Φ. (2019). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Η Εξέλιξη Των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας Στην Ελλάδα. Μελέτη Περίπτωσης: Φωτοβολταϊκά – Προβλέψεις, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Μακρυβέλιου Ε. (2011). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Πολυκριτηριακή Αξιολόγηση Επενδύσεων σε Έργα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο και Πανεπιστήμιο Πειραιά

Μαμάσης Ν. (2010). Εισαγωγή στην Ενεργειακή Τεχνολογία: Ηλιακή Ενέργεια και Φωτοβολταϊκά Συστήματα, Εκπαιδευτικές Σημειώσεις ΕΜΠ

Μαριάμου Σ., (2014). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Αξιολόγηση επενδύσεων σε έργα ΑΠΕ και βελτιστοποίηση κινήτρων με χρήση διεπίπεδου προγραμματισμού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ματσατσίνης Ν., Ζοπουνίδης Κ. (2007). Συστήματα Αποφάσεων με πολλαπλά κριτήρια. Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα

Μόσχου Ε. (2012). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Σύγκριση Εναλλακτικών Πηγών για την Παραγωγή Ενέργειας, , Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Μπουσδέκης Α., Διπλωματική εργασία: Αξιοποίηση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ελληνικά νησιά. Αθήνα, 2012.



Ξένου Α.(2017). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Η Εξέλιξη Του Θεσμικού Πλαισίου Της Ευρωπαϊκής Ένωσης Για Τη Λειτουργία Των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Οικονομου Α. (2007). Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας Θεσμικό Πλαίσιο, ΤΕΕ - Τμήμα Κεντρικής & Δυτικής Θεσσαλίας

Παπαλαζαρίδου Σ., "Αιολική ενέργεια- Κριτήρια χωροθέτησης αιολικών πάρκων: Η περίπτωση του νομού Φλώρινας", Διπλωματική Εργασία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Οκτώβριος 2009

Παπαντώνης Δ.. Εκδόσεις Συμείων: Μικρά Υδροηλεκτρικά Έργα. Αθήνα, 2001

Περωνικολής Δ. (2014). ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ με θέμα Πολυκριτήρια Αξιολόγηση Επενδύσεων Ηλεκτροπαραγωγής Από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Πολύζος Σ. (2011). Διοίκηση και Διαχείριση Έργων Μέθοδοι και Τεχνικές, εκδόσεις Κριτική, Αθήνα

Στυλιάρη Ε., " Ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας και κριτήρια χωροθέτησης αιολικών πάρκων", Ερευνητική Εργασία, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, Σεπτέμβριος 2015

Σφακιός, Δ. (2018). Μέθοδοι Πολυκριτηριακής λήψης αποφάσεων σε έργα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, Διπλωματική εργασία, Πάτρα.

Τζανακάκη Ε, Μαυρογιώργου Δ, ,Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών ενέργειας. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και εξοικονόμηση ενέργειας: Η αποδοχή του κοινού.2005.

Υπηρεσία Περιβάλλοντος. Υπουργείο Γεωργίας & Φυσικών Πόρων & Περιβάλλοντος και Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (2005). Development of Best Management Systems for High Waste Streams in Cyprus. 2005 Σχολή Χημικών Μηχανικών

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΝ) (2020). Εθνικό σχέδιο για την ενέργεια και το κλίμα, Αθήνα

- *Ιστοσελίδες*

*International Energy Agency, IEA (iea.org)*

NREL (National Renewable Energy Laboratory) (<https://www.nrel.gov/analysis/tech-lcoe-re-cost-est.html>)

ΔΕΗ Ανανεώσιμες ( [www.ppcr.gr](http://www.ppcr.gr) )

ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας και Εξοικονόμησης Ενέργειας) ([www.cres.gr](http://www.cres.gr))

EEA (European environmental Agency) ([www.eea.europa.eu](http://www.eea.europa.eu))

ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) ( [www.rae.gr](http://www.rae.gr) )

EPA (United States Environmental Protection Agency) ( [www.epa.gov](http://www.epa.gov) )

EC (European Commission) ([www.ec.europa.eu](http://www.ec.europa.eu))

UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) ( [www.unfccc.int](http://www.unfccc.int) )

Promrthee – Gaia (<http://www.promethee-gaia.net> (τελευταία πρόσβαση Ιούνιος, 2021)

Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας . (<https://ypen.gov.gr/>)

Ευρωπαϊκό Συμβούλιο και Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης  
(<http://www.consilium.europa.eu/>)

<https://www.buildeco.gr/%CE%BD%CE%AD%CE%B5%CF%82-%CE%84%CE%B1%CF%81%CE%AF%CF%86%CE%B5%CF%82-%CE%91%CE%A0%CE%95.html>